

川田工業株式会社 正 員 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

1. まえがき

都市の拡大と過密化に伴い、軟弱地盤であるにもかかわらず、地中埋設管が建設されるようになってきている。しかしながら、液状化を考慮した地中埋設管の耐震性に関する研究の歴史は浅く、解明すべき問題が数多く残されているのが現状である。そこで、本研究は地中埋設管の耐震安全性の向上を計るために、地盤の液状化を考慮した地中埋設管の地震応答特性を明らかにするものである。なお、本研究においては、弾性床上のはり理論による解析手法を中心としつつ、有限要素法や実験的手法をも援用した。

2. 解析方法

本研究は、地中埋設管に作用する浮力および地盤剛性の変化¹⁾を考慮し、時々刻々変化する過剰間隙水圧の発生量および地盤の応答変位を地中埋設管に作用させ、地中埋設管の地震応答解析を行なうものである。すなわち、有限要素法を用いて求めた地盤の応答量を、地中埋設管に²⁾入力するものである。地中埋設管の応答解析には、数値誤差が改善された修正伝達マトリックス法を用いた。埋設管路は弾性床上の梁とみなし、地盤ばねを介して地盤変位が管路に作用するものとしている(図.1)。また、管体は伸縮ばね、回転ばねによる継手モデルで連結されているものとする³⁾。ただし、埋設管路における慣性力、減衰力の影響は小さいものとみなし、2次元平面内での擬似静的問題とする。地盤の応答解析は、有効応力解析法に基づき液状化の考慮を行なった。解析の対象とした地盤モデル(図.2)は、新潟市川岸町の地盤であり、せん断弾性定数の違いにより17の層に分けられている。また、入力地震動としては、1952年のKern-County 地震におけるTaft記録波(図.3)を用いている。地中埋設管に作用する上向きの力は、理論解析より式(1)のように定式化される。なお、理論解析より導かれた関係式の妥当性を明らかにするために、振動台上に設置された飽和砂地盤中に地中埋設管模型を埋めて過渡的調和波を作用させ液状化実験を行なった。その結果、式(1)と実験結果が良い対応を示し、液状化時に模型に作用する上向きの力が式(1)のように定式化できることを確認した(図.4)。

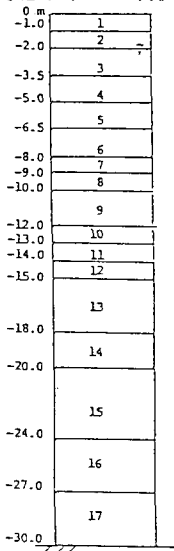


図.2 地盤のモデル

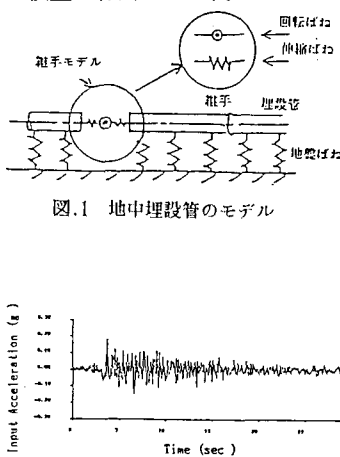


図.3 Taft記録波の加速度波形

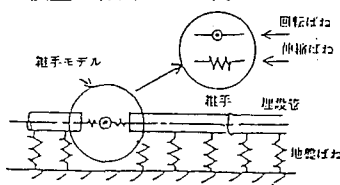


図.1 地中埋設管のモデル

浮力による上向きの力

$$F = (Z + \Delta Z) P_w A - (\tau_s Z + \rho_w Z) A \quad (1)$$

$$P_w = (\tau_s - \tau_w) u / \rho_w + \tau_w$$

$$F$$
 : 単位長さ当りの浮力による上向きの力 (kg)
 Z : 埋設深さ (cm)
 ΔZ : 地中構造物の高さ (cm)
 A : 地中構造物の面積 (cm²)
 ρ_w : 地中構造物の比重
 τ_s : 砂と水の混合液体の単位体積重量 (kg/cm³)
 τ_w : 水の単位体積重量 (kg/cm³)
 u / ρ_w : 過剰間隙水圧比

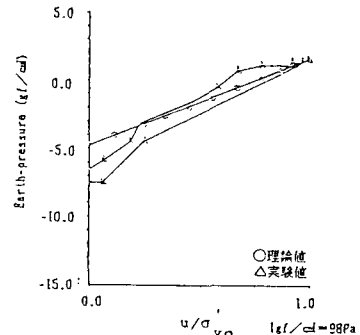


図.4 理論解析と実験解析の比較

3. 解析例

構造物近傍の地中埋設管に注目し、一端固定のダクティル鑄鉄管(5m×20本)を対象に解析を行なった。構造物の接合部から1本目の継手における時刻歴応答を示したのが、図.5、図.6である。この応答結果から、地震波動による継手伸縮量は4秒から6秒の不完全液状化時に大きな応答を生じるが、埋設管の破壊に及ぶまでは至らないことが明らかになった。また、対象とした埋設管は、過剰間隙水圧比が0.84になると浮力による上向きの力が生じ始め、過剰間隙水圧比が0.86になると許容継手回転量を上回ることが明らかになった。

さらに、地中埋設管の詳細な地震応答特性を把握するために、新潟地震の際に顕著な被害を受けた新潟市川岸町のマンホールに連結された下水道管に本プログラムを適用し、地震応答解析を行なった。応答結果を図.7、図.8に示す。過剰間隙水圧比0.5の不完全液状化時にマンホールと下水道管の連結部に大きな応力集中を生じ、すでに許容継手回転量を上回っていることが明らかになった。

地中埋設管の応答解析を通して得られた研究成果は以下に示す通りである。

- (1)完全液状化時には、管路の浮上により、特に構造物との接合部近傍での継手部の屈曲破壊の危険性が極めて高い。
- (2)解析の対象とした地中埋設管に作用する上向きの力は、過剰間隙水圧比0.84で作用し始め、過剰間隙水圧比0.86以上で許容継手回転量を上回ることが明らかになった。
- (3)マンホールに連結された下水道管を解析の対象としたところ、不完全液状化時にマンホールと下水道管の連結部に大きな応力集中が生じた。すなわち、完全液状化時のみならず、不完全液状化時においても地中埋設管が浮力の影響で破壊する危険性が高いことが明らかとなった。

4. 結 言

本研究は、地盤の液状化を考慮した地中埋設管の地震応答特性を、模型実験、理論解析、シミュレーション解析を通じて明らかにしようとしたものである。今後検討すべき問題点および課題も少なくないが、本研究の結果を総括すると、地盤の液状化時に地中埋設管に作用する浮力の影響を考慮することにより、概略的ではあるが地中埋設管の破壊状況を把握できることが明らかになった。

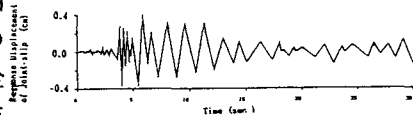


図.5 継手伸縮量の時刻歴応答

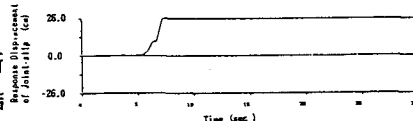


図.6 継手回転量の時刻歴応答

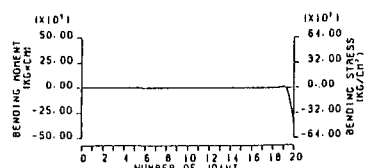


図.7 埋設管の曲げモーメント、曲げ応力
(過剰間隙水圧比0.5)

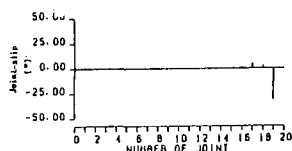


図.8 埋設管の継手回転量
(過剰間隙水圧比0.5)

- *参考文献*
- 1) 吉田常松, 植松幹夫: 液状化砂中の杭の動的挙動の研究, 第5回地震工学シンポジウム, 1978.
 - 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, 1979.9.
 - 3) 高田至郎, 高橋俊二, 山部泰男: 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, 第547号, 1980.4.
 - 4) Martin, G.R., Finn, W.D.L., Seed, H.B.: Fundamentals of Liquefaction under Cyclic Loading, Proc. of ASCE, Vol.101, GT5, pp.423 ~ 438, 1975.