

液状化地盤および地中埋設管の地震応答解析

金沢大学 大学院 学生員 〇柿谷 敏久
金沢大学 工学部 正会員 北浦 勝
金沢大学 工学部 正会員 宮島 昌克

1.まえがき

液状化時における地中埋設管の挙動を扱う研究は少なく、地中埋設管の耐震安全性を高めるためには、液状化を考慮した地中埋設管の地震応答解析が必要となってくる。本文は、有効応力解析法を用いて地盤の応答解析を行ない、液状化の進行に伴う地中埋設管の挙動を解析したものである。

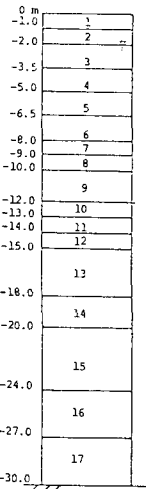
2.解析方法

地盤の応答解析は、液状化を考慮した有効応力解析法を用いた¹⁾。解析の対象とした地盤は新潟市川岸町のもので、土質条件・地盤モデルを表・1・図・1に示す。解析に用いた入力地震動は1952年のKern Country地震におけるTaft地震であり、図・2にその加速度波形を示す。解析ピッチは0.02秒で30秒間継続し、最大加速度は69galである。地震動が地盤に作用し始めると、過剰間隙水圧が発生し、地盤の剛性が変化する。一方では、浮力・浸透力による上向きの力が埋設管に働いてくる。本解析は、FEMを用いて解析した第3層における地盤応答を地中埋設管の解析に取入れたものである。尚、地盤ばねは過剰間隙水圧の発生量に応じて式1のように変化するものとし、浮力・浸透力による上向きの力は式2のように変化するものとする。地中埋設管の応答解析は、伝達マトリックス法を用いた。地中埋設管のモデルを図・3に示す。この場合、埋設管路は弾性床土上の梁とみなし、地盤ばねを介して地盤変位が管路に働くものとしている。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²⁾。ただし、埋設管路は慣性力・減衰力の影響は小さいものとみなし擬似静的問題とする。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ものと仮定する。

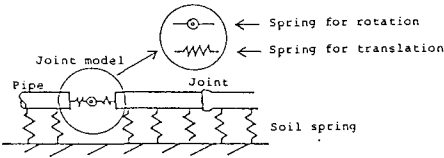
表・1 土質条件

H	γ_s	c_v	G_p	v	τ	h	k
1.0	1.3	0.06	690	0.4	0.29	0.063	-
1.0	1.3	0.19	520	0.4	0.22	0.057	-
1.5	1.8	0.31	460	0.4	0.19	0.049	10^{-4}
1.5	1.8	0.43	500	0.4	0.21	0.050	"
1.5	1.8	0.55	700	0.4	0.29	0.055	"
1.5	1.9	0.68	1100	0.4	0.46	0.065	"
1.0	1.9	0.79	1500	0.4	0.63	0.073	"
1.0	1.9	0.88	1500	0.4	0.63	0.073	"
2.0	1.9	1.02	1700	0.4	0.71	0.076	"
1.0	1.9	1.15	2000	0.4	0.84	0.081	"
1.0	1.9	1.24	2200	0.4	0.92	0.084	"
1.0	2.0	1.33	2700	0.4	1.13	0.090	"
3.0	2.0	1.53	3200	0.4	1.34	0.096	"
2.0	2.1	1.78	4300	0.4	1.81	0.107	"
4.0	2.1	2.11	4300	0.4	1.81	0.107	"
3.0	2.1	2.48	4800	0.4	2.02	0.112	"
3.0	2.81	2.81	6400	0.4	2.69	0.126	"

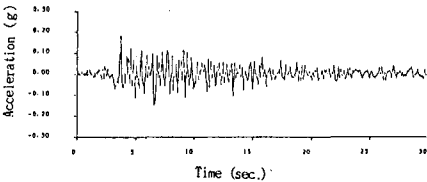
r_s : 単位体積重量 (kg/m^3) H : 層厚 (m) h : 減衰係数
 c_v : 初期有効応力 (kg/cm^2) τ : 剪断係数 (kg/cm^2) ν : ボアソン比
 G_p : 初期保正定数 (kg/cm^2) k : 透水係数 (m/s)



図・1 地盤のモデル



図・3 地中埋設管のモデル



図・2 Taft地震の加速度波形

地盤の剛性低下の割合式³⁾

$$m = 2.81 + 528.1 / (j - 291.1) \quad (1)$$

浮力・浸透力による上向きの力

$$F = (Z + eZ) PwA - (\sigma Z + \rho_p Z) A + \bar{F} \quad (2)$$

基礎方程式

$$\text{管軸方向} \quad -EA \frac{d^2 u}{dx^2} + k_{xy} u = k_{xx} u_{xx} \quad (3)$$

$$\text{管軸直角方向} \quad EI \frac{d^4 v}{dx^4} + k_{xy} v = k_{yy} v_{yy} + F$$

m; 地盤剛性の低下割合

$$j = (u / d_0) * 100$$

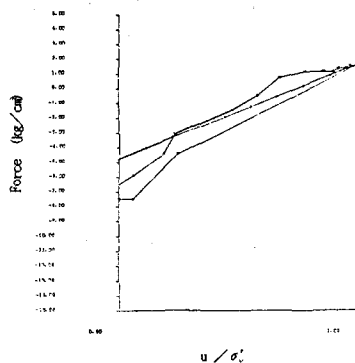
F; 単位長さあたりの上向きの力 (kg/cm) $Pw = 0.9 (u / d_0) + 1.0$

u 及び u_{xx} ; 管軸方向の管変位 (cm) 及び地盤変位 (cm)

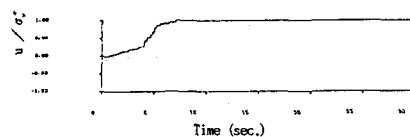
k_{xx} , k_{yy} ; 管軸方向の単位長さあたりの地盤ばね定数 (kg/cm)

3. 解析例

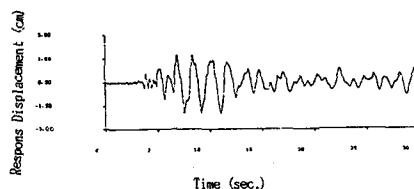
まず、浮力・浸透力による上向きの力を求める実験を行なった。実験から求められた結果と式2から得られた結果とを比較してみると、ほぼ同じ値を示している。(図・4) これらの結果から、上向きの力は一次関数で表されることが、また間隙水圧比が0.84以上になると埋設管に上向きの力が作用することがわかった。次に、地盤応答の解析結果として、過剰間隙水圧および地盤変位を図・5・図・6に示す。過剰間隙水圧が急激な上昇を示す5secあたりから変位波形が長周期成分の卓越した波となっている。また、8secあたりで過剰間隙水圧比が1.0に達していることがわかる。埋設管の応答結果として、軸力および軸応力の最大応答結果を図・7に示す。同図によれば、地盤ばねの変化を考慮しない場合の軸力は 3.04×10^4 kgで、考慮する場合は 4.41×10^3 kgとなっている。これらの結果より、液状化すると地盤の剛性が低下するため、地盤波動による影響が減少し、埋設管の応答値も減ることが確かめられた。しかし、下水道の場合、マンホールと埋設管とでは浮力・浸透力による上向きの力の働く時間に差が生じるので、マンホールと埋設管の継手部分における曲げモーメントは大となる。(図・8) つまり、液状化時における地中埋設管の被害は、地震波動によるものより、浮力・浸透力による上向きの力が働く時間の差に大きく影響していると考えられる。詳しい考察は講演時に譲る。



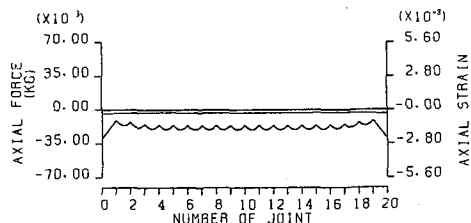
図・4 浸透力・浮力による上向きの力 (実験値と理論値)



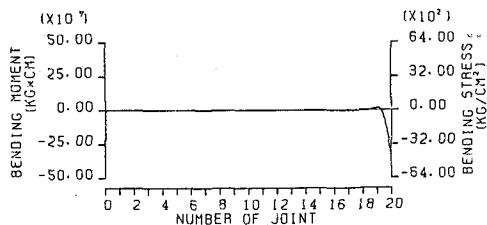
図・5 過剰間隙水圧比の時刻歴応答 (第3層)



図・6 地盤変位の時刻歴応答 (第3層)



図・7 管路の軸力・軸応力応答



図・8 管路の曲げモーメント応答

参考文献

- 1) Finn, Lee, Martin: An Effective Stress Model for Liquefaction, Proc. Asce, GT6, 1977
- 2) 高田至郎, その他: 埋設管の地震時応答シミュレーション, 水道協会雑誌, 1980
- 3) 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, 1987