

確率的変動を考慮したモデルによる埋設管の地震応答に関する考察

東北大学工学部 正会員 佐武正雄
 同上 正会員 岸野佑次
 同上 正会員 浅野照雄
 新日本製鉄(株) 正会員 鈴木昭信

1. まえがき

1978年宮城県沖地震では、ガス・水道等の埋設管の被害は地山と埋立との境界付近に多く発生した¹⁾。これは、この異種地盤の地震時の挙動が互いに異なるために、埋設管に不均一な外力が働いた結果だと思われる。このように、埋設管の耐震性を考える上で、外力がどのように働いたかが重要な問題となるが、一方、埋設管の地震応答解析を行なうためには、モデル化に必要な地盤や管体の継手の剛性をどう扱うかが問題となってくる。しかし、地盤と管体、あるいは継手部における管体相互の動的な相互作用は明らかでなく、さらに、実際において、地盤と管体の接合の程度も一律でない。本文は、このような観点から、隣りあう二つの異種地盤に敷設された埋設管をバネ・慣性系モデルにおきかえ、地盤のみの地震応答解析により求めた加速度を埋設管に外力として与え、地盤および管体の継手のバネ剛性の変動が、管体の軸方向応答変位の最大値に及ぼす影響を与えるかを数値解析により検討したものである。

2. 解析方法

2.1 モデル化

隣接する二つの異種地盤を図-1のようにモデル化し、地盤・埋設管系のモデル化を、図-2のように、一つの管体を一層長に、管体の間の継手(メカニカル継手)の剛性を線形バネに、管体と地盤の間の相互作用を線形せん断バネにおきかえたバネ・慣性系とする。また、継手には減衰を考慮する。

2.2 応答解析

まず、任意の地震波(加速度)と、表-1に示した地盤の物理定数を用いて、図-1の地盤の有限要素地震応答解析を行ない、埋設管に外力を与える地盤の応答加速度を求める。得られた地震加速度を図-2に示すバネ・慣性系モデルの外力として与え、ニューマ-7のβ法により埋設管の応答を計算する。

なお、解析の対象の埋設管の諸元を表-2に、埋設管の応答解析に用いた諸定数を表-3に示す。なお、地盤・継手の剛性は文献²⁾を参考にして決めた。さらに、埋設管の応答解析において、管体の外側に厚さ10cmの付加質量を与えた。また、減衰[C]はRayleigh dampingであり、 $[C] = \alpha [K]$ ($\alpha = 0.5$)とした。

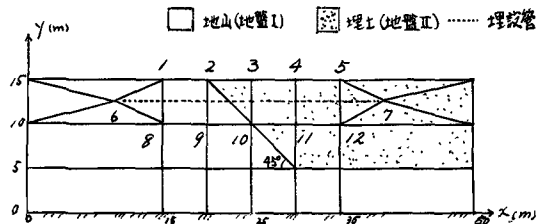


図-1 地盤のモデル化

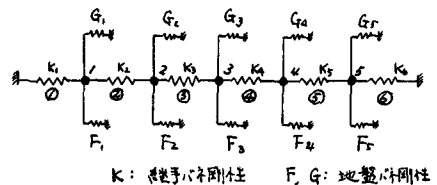


図-2 埋設管のモデル化

表-1 地盤の諸定数

物理定数	ヤング率(γ_w)	ポアソン比	単位体積重量(γ_s)
地盤 I	35000	0.35	1.9
地盤 II	8000	0.40	1.7

3 計算結果および考察

3.1 地盤および管体の応答計算

解析に用いたモデルのバネ特性は線形と仮定していることと、計算時間、計算機容量の問題から、加速度のあまり大きくない、能率時間の短い地震波を基礎に与えた。用いた地震波は、宮城県の大野川橋付近の地盤で得られた記録を、これを図-3(1)に示す。

次に、図-3(2)(3)に、埋設管設置地点の地盤の有限要素解析による応答加速度を代表的なもののみを示す。これらの応答加速度には、位相の差があまり明瞭には認められない。これらの応答加速度と、埋設管モデル(図-2)の入力とし解析した結果より、埋設管の応答値と図-4に示す。この図から、軟弱層の埋設管の応答が大きくなる。2.1.3.

表-2 埋設管の諸元

材質	9791L 鋼鉄
比重	7.15
内径	300 mm
管厚	15 mm
長さ	5000 mm
重量	0.5307 ton
質量	0.054 t/m

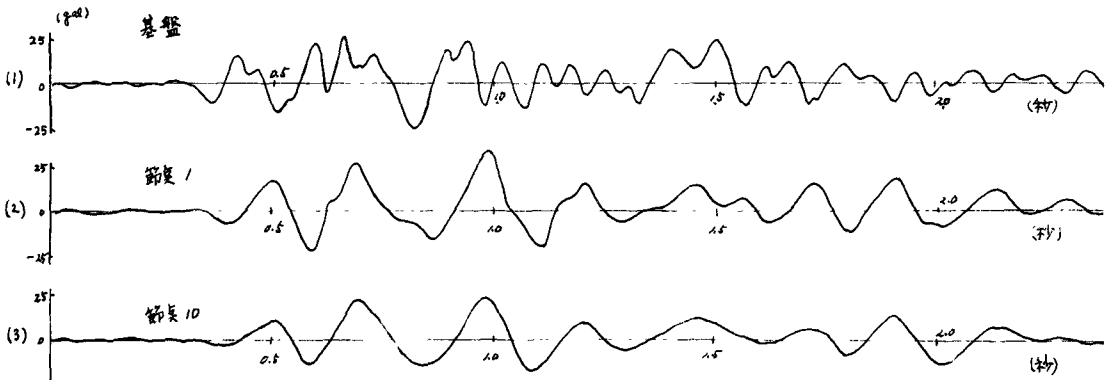


図-3 基礎入力地震波と地盤の絶対応答加速度

$$m = 0.178, \quad k = 50, \quad F_I = G_I = 300, \quad F_{II} = G_{II} = 150$$

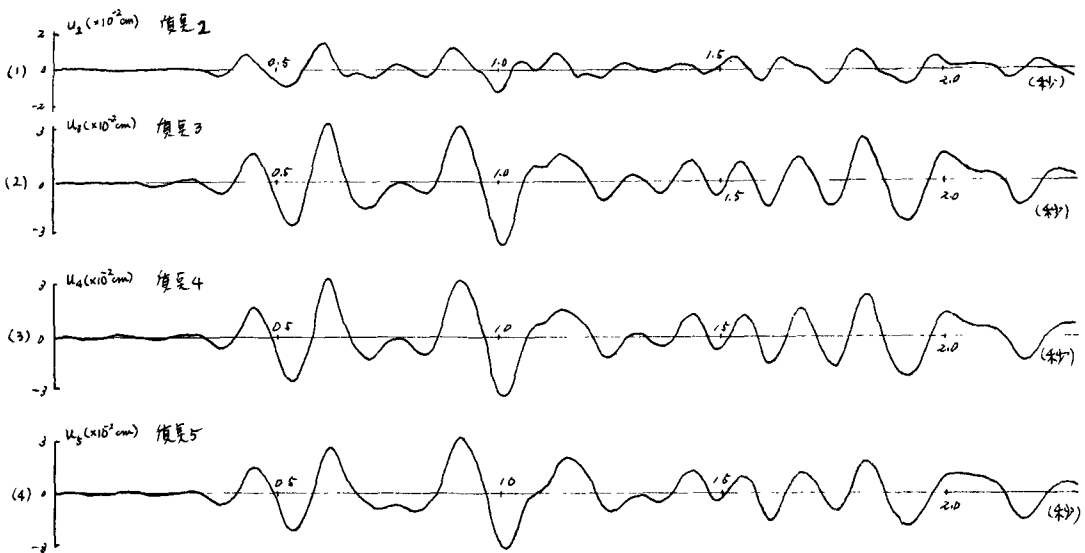


図-4 地盤と管体との相対変位

3.2 確率的変動も考慮した埋設管の応答計算

地盤および管体の継手のバネ剛性に正分布をもつ変動量を考慮した場合の、管体と地盤、および、管体継手部の相対変位の最大値の変動を調べる。計算に用いた地盤および継手のバネ剛性の平均値および変動係数を表-3に示す。なお、応答計算は1つのケースとして100回行ない、最大応答変位の平均値、標準偏差、変動係数を取った。

表-3 質量、バネ剛性の平均値と変動係数

質量	平均値	変動係数	
管体の質量 m	0.178 t/m	0	
継手バネ定数 K	50, 10 t/m	0.1, 0.5	
地盤バネ定数	F_I	1000, 300 t/m	"
	G_I	700, 150 t/m	"
	F_{II}	100, 300 t/m	"
	G_{II}	50, 150 t/m	"

図-5に、変動係数0.5の場合の、各々の地盤と管体の最大相対変位 $u_{i,max}$ 、管体の継手部の最大変位 $\delta_{i,max}$ の平均値と標準偏差を示す。

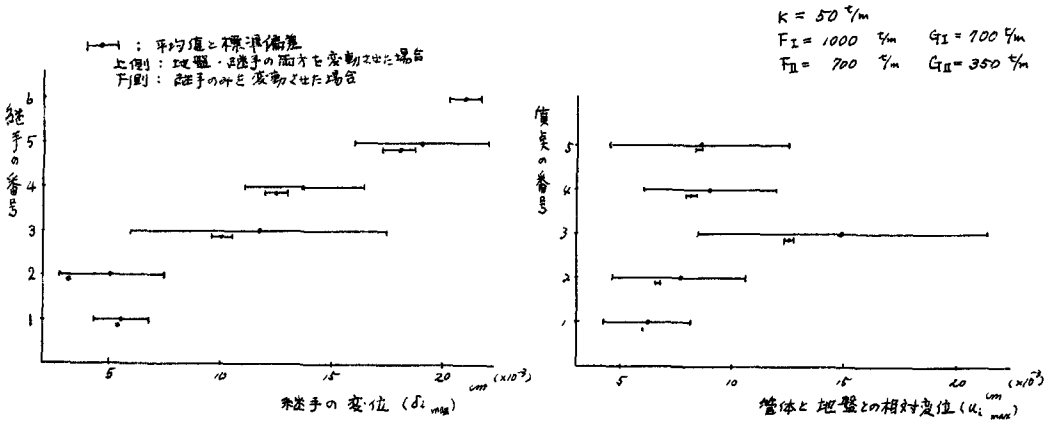


図-5 埋設管の応答の平均値と標準偏差 (1)

この図から、地盤および継手のバネ剛性を全て変動させた場合、地盤との相対変位は増えるが、管体の継手変位は継手④が最大であり、標準偏差は地盤との相対変位に比べては増えるが、継手変位については、継手③が最も大きくなっている。

このように、継手の変位の変動は、異種地盤境界の軟弱弱側で最大となったが、この傾向は、継手バネ剛性が10 t/m と小さくなった場合でも同様である。また、逆に、地盤のバネ剛性を $F_I = G_I = 300$ t/m, $F_{II} = G_{II} = 150$ t/m と小さくした場合も、図-6に示すように、継手の変位の変動は、継手④で最大となっている。

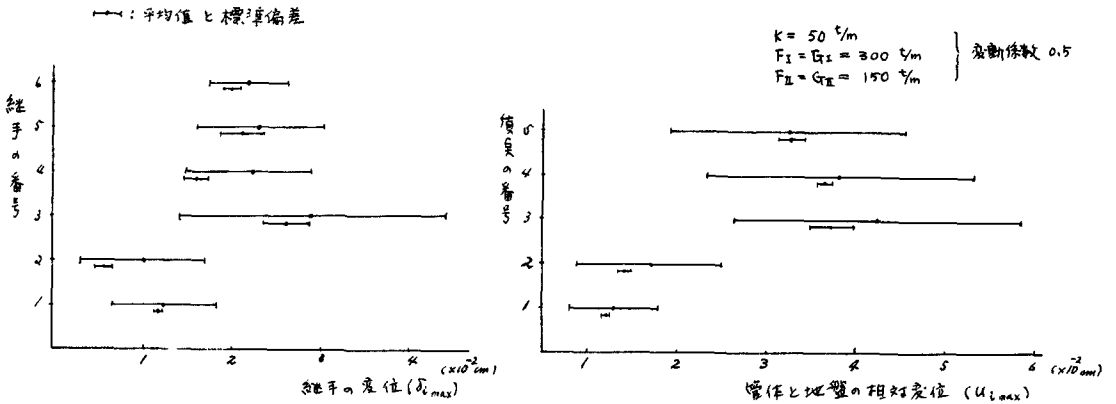


図-6 埋設管の応答の平均値と標準偏差 (2)

また、図-5, 6 に示してあるように、継手バネ剛性のみ変動させた場合の最大応答の変動は、地盤のバネ剛性の平均値が小さくすると大きくするが、地盤のバネ剛性の変動の影響に比べると非常に小さいとわかる。これと、変動係数を比較すると、表-4 の通りになる。この表から、応答の変動は、主として地盤バネ剛性の変動の影響を受けるとわかる。なお、表の中の*印は、応答値の極端に大きくなるような計算例を示したわけにはならない。この計算に用いた乱数列の中に値集りの地盤定数を非常に小さくするものを含むためである。

この他に、継手の剛性の変動を一ヶ所に限定した場合の計算を行ったが、その影響は大きくない結果となった。

表-4 継手部の最大変位の変動係数

地盤バネ剛性	継手バネ剛性	変動要素		変動係数	$m\delta_{max}$	$m\delta_{min}$	$m\delta_{diff}$	$m\delta_{diff}/m\delta_{max}$	$m\delta_{diff}/m\delta_{min}$	$m\delta_{diff}/m\delta_{avg}$
		地盤バネ	継手バネ							
$F_I = 1000 \%$ $G_I = 700 \%$	50 %	○	○	0.1	0.01	0.05	0.10	0.03	0.02	0.01
		○	×	○	0.01	0.05	0.10	0.03	0.01	0.01
		×	○	○	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
		○	○	0.5	0.23	0.49	0.50	0.19	0.16	0.04
		○	×	○	0.23	0.49	0.49	0.19	0.16	0.02
		×	○	○	0.01	0.05	0.04	0.03	0.04	0.03
$F_{II} = 500 \%$ $G_{II} = 350 \%$	10 %	○	○	○	0.26	0.51	0.55	0.22	0.18	0.02
		○	×	○	0.26	0.50	0.55	0.22	0.20	0.02
		×	○	○	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
		○	○	地盤I 0.1	0.06	0.06	0.52	0.33	0.17	0.03
		* ○	* ○	地盤II 0.5	0.06	0.07	1.28	1.21	0.24	0.03
		○	○	○	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
$F_I = G_I = 1000 \%$ $F_{II} = G_{II} = 500 \%$	50 %	○	○	0.5	0.48	0.71	0.52	0.40	0.35	0.32
		○	×	○	0.44	0.64	0.50	0.44	0.35	0.32
		×	○	○	0.04	0.18	0.10	0.10	0.12	0.08
		○	○	○	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00

注1) 変動要素欄の(○, ×)印は、変動の有無を示す。

注2) $m\delta_{diff}$ は継手の最大変位の変動係数を示す。

4 おとがき

以上、埋設管の地震応答モデルであるバネ-質量系におけるバネ剛性の変動が、埋設管の応答の変動にどのような関連があるかを調べた。その結果、埋設管の最大応答の変動は、継手バネの変動による影響は殆んど受けず、地盤のせん断バネ剛性の変動に支配されることわかった。また、その影響の程度は、応答の大きい所に著しく、本文の例のような異種地盤に敷設された埋設管では、境界付近の軟弱層で最も影響を受け、本文は、地盤および管体の継手の剛性を線形バネとして取扱ったが、今後は、非線形特性をもつように仮定し、埋設管モデルを改善していく必要があると思われる。

なお、本研究は、昭和53年度科学研究費「地下構造物のモデル化と応答解析」(研究代表者 久保康三郎)の補助を受けて行ったためであることをご注意する。

参考文献

- 1) 佐武・岸野・浅野：1972年宮城県沖地震による埋設管の被害について、第15回自然災害科学総合シンポジウム、P.245~249、1978年10月
- 2) 高田、長尾：埋設管の耐震性に対する継手の影響について、第4回日本地震工学シンポジウム、P.679~685、1976