

神戸大学工学部 フェロ-会員
(株)長大 正会員

高田 至郎
津吉 俊尚

神戸大学工学部 正会員 尾崎 竜三
神戸大学大学院 学生員 ○ 篠原 聖二

1. はじめに

1995 年に発生した兵庫県南部地震をはじめ、多くの既往の大地震において、砂質地盤の液状化により各種の構造物が甚大な被害を受けてきた。地震時においては、地盤の液状化に起因した大規模な側方流動を生じる場合が数多くあり、それに伴う地中管路の被害が顕著である。そのため液状化の発生による地盤の永久変位、およびその場合の地中管路応答を知ることは非常に重要であり、地中管路の耐震設計においても大きな手助けになるといえる。本研究では、著者らにより開発された液状化側方流動解析プログラム¹⁾を用いて、表層非液状化層、液状化層厚、液状化層幅、液状化地盤のN値、管路諸元および基盤勾配の各要因が地中管路に及ぼす影響を検討するため、パラメータスタディを行い、その結果より管路ひずみの予測式を提案した。

2. 解析条件

解析モデルの 1 例として図-1 に基本モデルを示す。基本モデルは傾斜液状化地盤、成層液状化地盤、非液状化地盤の 3 ブロックから成り、中央の傾斜液状化地盤の両側に成層液状化地盤を、さらにその両側に非液状化地盤を配置する。液状化地盤は 8 層から成り、上から 2 層までを非液状化の軟弱層、3～6 層を液状化層（図-1 の網掛け部分）、下の 2 層を非液状化基盤と想定している。

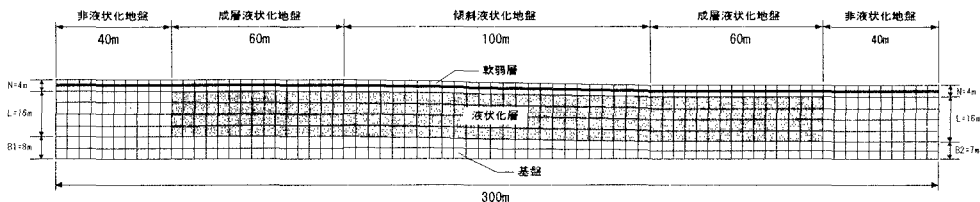


図-1 基本モデル

地中管路は深さ 2m の位置にはり要素としてモデル化し、はり要素の上下にはすべり・剥離を表現するために接合要素を配置している。地盤の側方境界は、動的解析時には粘性境界とし、自重解析においては自由境界としている。また、入力地震動は図-2 に示すような最大振幅 150gal の 1Hz の正弦波を設定している。なお、動的解析終了後は 20 秒間の圧密沈下解析を行っている。本研究では表層非液状化層、液状化層厚、液状化層幅、液状化地盤のN値、管路諸元および基盤勾配の各要因が地中管路に及ぼす影響を検討するために全 33 ケースのパラメータスタディを行った。

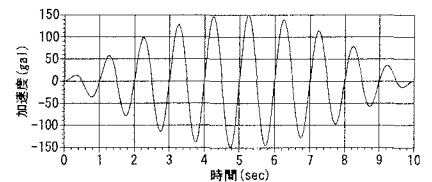


図-2 入力地震動

3. 解析結果

本稿では紙面の都合上、基本モデルとした 1 ケースを対象に応答解析を行った結果を示す。基本モデル（表層厚 4m、液状化層厚 16m、液状化層幅 220m、液状化地盤のN値、管径 400mm、基盤勾配 2%）における地表面、液状化層、非液状化層における流動量および最終変形図を図-3 に示す。なお、液状化層、非液状化層の流動量は各層において、最大値を

表-1 管路諸元（基本モデル）

単位体積重量 (kN/m^3)	管径 (cm)	管厚 (cm)	断面積 (cm^2)	曲げ剛性 (kNm^2)	ヤング係数 (kN/m^2)	ポアソン比
19.7	21.63	0.48	31.89	3671.99	2.068×10^5	0.3
	40.64	0.79	98.90	40419.22		
	60.96	1.51	282.02	256577.09		

表-2 初期地盤定数（基本モデル）

	N値	せん断波速度 (m/s)	透水係数 (m/s)	単位体積重量 (kN/m^3)	相対密度	せん断剛性 (kN/m^2)	ポアソン比	粘着力 (kN/m^2)	内部摩擦角 (度)
軟弱層	10	100	5.0×10^{-3}	14.70	0.664	15000.0	0.49	0.0	27.2
	3	70			0.300	8330.0			23.7
	5	80			0.344	10880.0			23.7
液状化層	10	100		16.66	0.500	17000.0	0.49	0.0	27.2
	50	300			0.983	180000.0			42.4
基盤	50	300		19.60	0.983	180000.0	0.45	49.0	42.4

示した節点の流動量を抽出した。図より液状化層中央部付近が最も流動量が大きく、地表面の流動量もそれに対応し中央部において最大流動量を示していることがわかる。また、地表面流動量は液状化層流動量の1/3～1/2程度であることが知られた。

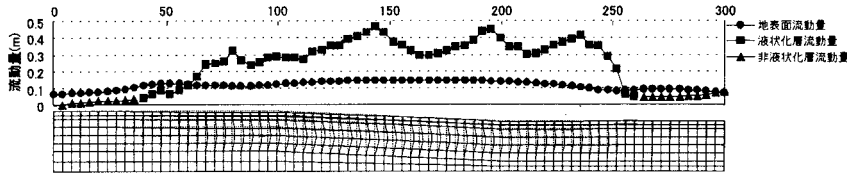


図-3 最終変形図および最大流動量分布図（基本モデル）

図-4には各はり要素の軸ひずみ時刻歴において最大であった値を、その要素位置にプロットした分布図を示している。ただし、引張によるひずみを正、圧縮によるひずみを負としている。モデル左半分では引張によるひずみが、右半分では圧縮によるひずみが卓越していることが分かる。これは解析モデルの形状が右下がりであることに起因するものである。また、左右の非液状化層と液状化層の境界付近でピークが得られたが、これは既往の試験や解析²⁾においても見られる傾向であるため、妥当なものであると考えられる。

一方、同様な方法により、軸力によるひずみ ε_N および曲げモーメントによるひずみ ε_M に分けてそれぞれのひずみ分布を調べた結果について、軸力によるひずみ分布を図-5に、曲げモーメントによるひずみ分布を図-6に示す。ただし、曲げモーメントは反時計回りを正としている。軸力によるひずみは左右の境界付近において大きな値を示しており、軸ひずみ($\varepsilon_N+\varepsilon_M$)の分布形状と一致していることから、曲げモーメントよりも、軸力による影響が大きいと考えられる。

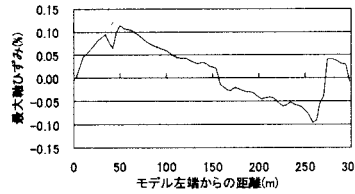


図-4 最大軸ひずみ分布

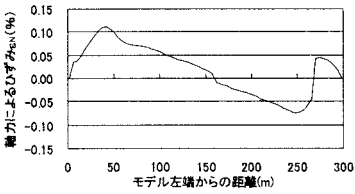


図-5 軸力によるひずみ分布

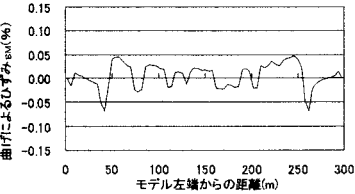


図-6 曲げモーメントによるひずみ分布

4. 管路ひずみ予測式の提案

本研究で行った全ケースの解析結果より、表層非液状化層厚、液状化層厚、液状化層幅、液状化地盤のN値、管路諸元、基盤勾配の影響を考慮に入れた管路軸ひずみの予測式を提案する。被説明変数として管路軸ひずみ応答値を考え、説明変数を表層非液状化層厚 $H(m)$ 、液状化層厚 $L_1(m)$ 、液状化層幅 $L_2(m)$ 、液状化地盤のN値、管径 $D(mm)$ 、基盤勾配 $\theta(^\circ)$ として重回帰分析を行い、未知パラメータを決定した結果を式(1)に示す。

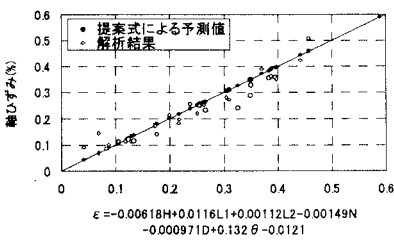


図-7 解析結果と予測式の分布

$$\epsilon = -0.00618H + 0.0116L_1 + 0.00112L_2 - 0.00149N - 0.000971D + 0.132\theta - 0.0121 \tag{1}$$

また本解析による結果と提案式による予測値の分布を図-7に示す。図より提案式と解析結果との相関性は高く、予測もある程度可能であると考え。今後は、本研究で用いた解析プログラムおよび予測式の現実地盤への適応性を検討していく予定である。

【参考文献】

1) 津吉俊尚：震動・側方流動を同時に受ける液状化地盤内地中管路の応答解析と設計法に関する研究，神戸大学修士論文，pp.26-44，2000.3
2) 八島厚，張鋒，山本哲也，桑島健：埋設管と地盤のすべりを考慮した液状化挙動解析，第25回地震工学研究発表会講演論文集，pp.1057-1060，1999.7