

液状化地盤中の埋設管の応力解析

九州工業大学 大学院 学生員 ○規矩大義
 同上 工学部 正員 安田 進
 新日本製鉄(株) 長谷川久
 九州工業大学 工学部 学生員 豊嶋賢治

※まえがき※

地中埋設管の応力・変形解析を行う場合、地盤変位を地盤ばねを介し、強制力として埋設管に与える手法がとられることが多い。液状化地盤においては、過大な変位振幅が生じたり、永久変位が発生することも予測される。また一方で、液状化に伴う地盤の軟化によって、地盤ばねの値も低下してくることも考慮に入なくてはならない。筆者ら¹⁾はかつて、振動台を用いたPLP鋼管に対する液状化地盤の拘束力実験で、液状化程度の進行に伴って、地盤拘束力が急激に低下してくる結果を得ている。本研究では、その結果を利用し、液状化程度に応じた地盤ばね定数を求め、液状化地盤中の埋設管の応力解析を行った。以下に報告したい。

※定数の決定方法※

まず、既往の実験結果を整理する。実験より得られた、液状化程度と首軸方向の限界せん断力の低減率 ($\tau_{cr}/\tau_{cr,0}$) の関係を図-1に、同様に、軸直角方向の模型地盤の地盤ばね定数の初期勾配 ($k_2/k_{2,0}$)、および第2勾配 ($k_2'/k_{2',0}$) の低減率を図-2に示す。この結果を利用して、液状化過程の地盤ばね定数を決定した。

管軸方向では地盤と管の滑りを考慮してバイリニア型とし、ガス導管耐震設計指針で採用されている地盤ばね係数の標準値 $k_1 = 0.1(\text{kgf}/\text{cm}^3)$ に、実験で得られた限界せん断力の低減率をかけて求めた。一方、軸直角方向は、地盤が降伏し始めても拘束力が幾らか残留すると仮定し、同様の方法で地盤ばね定数の初期勾配、および第2勾配を求めた。各々の降伏相対変位は、 $\Delta_{cr} = 0.17, 1.0(\text{cm})$ と仮定した。表-1に、解析で用いた地盤ばね定数の値を示す。

※解析条件※

解析には、埋設管の耐震解析プログラム(MPIPE)を用いた。解析モデルは、中心角が 22.5° のエルボを挟む2本の直線管路で構成される曲管モデルとし、液状化層中の埋設距離は100mとした。対象とした管は、管外径11.43cm、管厚6.0mmの100A鋼管とし、管体の応力ひずみ関係は、解析プログラムの都合上、線形と仮定している。地盤の液状化の程度は過剰間隙水圧比で定義し、 $\Delta u/\sigma_v' = 0.0, 0.4, 1.0$ の3段階とした。また、与えた地盤変位は液状化時の過大振幅を想定して、 $\delta = 5\text{cm} \sim 30\text{cm}$ までを軸直角方向に与えた。また、変位分布の形状は二等辺三角形分布とした。(図-3)

※解析結果※

図-4に、過剰間隙水圧比の各段階での地盤変位量と軸応力の関係を示す。軸応力は、液状化層と非液状化層の境界、及びエルボの二箇所の応力をプロットしている。水圧比0.0では、変位量の小さいうちは、境界部付近の引張り方向の軸力が卓越し、エルボには圧縮力が働くが、変位量が増加するに従って、エルボ

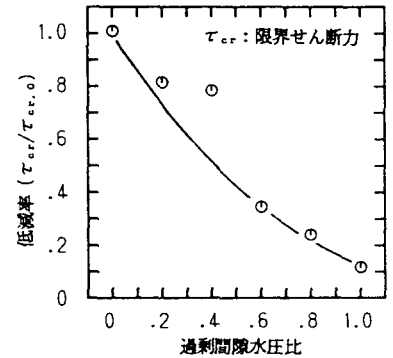


図-1 限界せん断応力の低減率

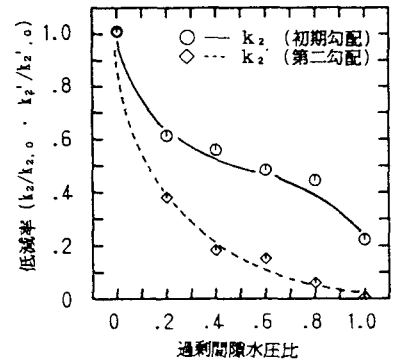


図-2 軸直角地盤ばねの低減率

での引張り力が卓越し、境界部では圧縮側に働くようになる。これは変形モードが内曲げ変形か外曲げ変形かの違いに起因している。水圧比 0.4 で地盤ばねの値が小さくなると、エルボでの軸力は減少傾向を示すが、境界部付近の軸力は殆ど水圧比 0.0 の場合と変わらない。水圧比が 1.0 の状態では、他のケースに比べて軸力の変化は非常に少ない。次に、地盤の変位量と最大曲げ応力の関係を図-5 に示す。いずれのケースでもエルボの位置で発生し、変位が増すに連れて増加していく傾向にある。水圧比 0.0 と 0.4 の場合では、地盤ばねの値が小さい 0.4 のときの方が曲げ応力は小さいが、逆に水圧比 1.0 では、変位が小さい間は、エルボのみに応力が集中し、他のケースより大きな曲げ応力が発生している。一般に、地盤ばねが低下すれば、埋設管への強制力が減少して、安全側に作用すると考えがちだが、逆に管路の変形を拘束する力も弱まり、その結果として大きな曲げ応力が発生するものと考えられる。埋設条件、与える変位の向き等によっては、液状化の進行が必ずしも安全側、危険側と一義的に定義することはできない。

表-1 地盤ばね定数

$\Delta u/\sigma_v'$	管軸方向		軸直角方向		
	K_1	Δcr	K_2	K_2'	Δcr
0.0	21.54	0.17	6.86	0.75	1.0
0.4	10.77	0.17	3.70	0.14	1.0
1.0	2.59	0.17	1.51	0.01	1.0

unit : 地盤ばね (kgf/cm²)
 Δcr (cm)

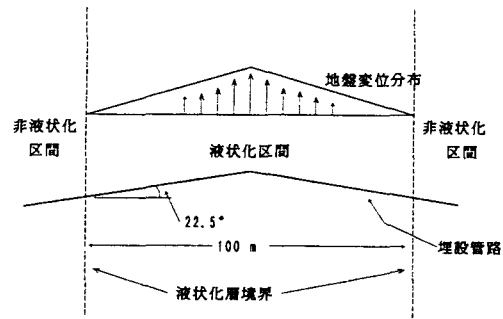


図-3 埋設管路・変位分布 モデル

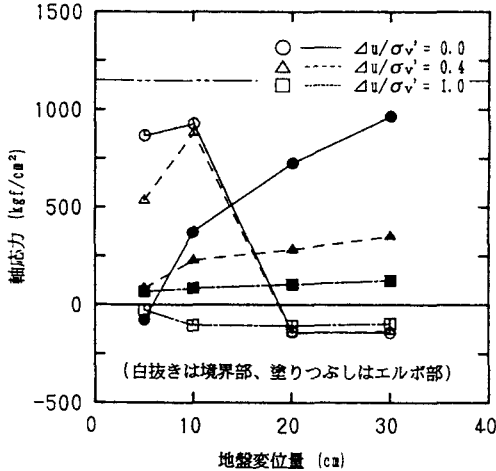


図-4 変位量と軸応力の関係

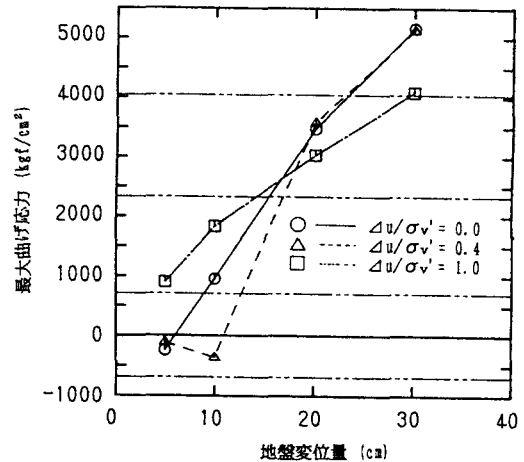


図-5 変位量と曲げ応力の関係

※あとがき※ 液状化時の地盤ばねの低減を段階的に考慮した埋設管の応答解析を行ってみた。定量的な検討をするには、解析ケースも少なく、継手やエルボ等の条件や管体の非線形性も考慮に入れる必要がある。今後は、有効応力解析から得られる、過剰間隙水圧、応答変位と組み合わせて、埋設管の応力状態を時間的に追跡することも検討している。

※参考文献※

- 1) 規矩・安田・吉田：埋設管に対する地盤の拘束力と液状化の関係、第20回地震工学研究発表会、1989