

防衛大学校土木工学教室 学生員○大内 元

正 員 佐藤 絃志

1. まえがき 新潟地震 (1964) や日本海中部地震 (1983) では、地盤の液状化によると思われる埋設管の被害例が数多く発生している。従来、地盤の液状化が埋設管の挙動に及ぼす影響としては、1) 完全液状化時の浮力の作用による管体の浮き上がりの影響、2) 不完全液状化時における地盤の拘束力の低下に伴う管路の挙動²⁾などが検討されてきた。また、埋設管路の耐震性評価では無視されていた管体の動的挙動の影響についても、地盤の拘束力の低下という状況のもとでは考慮する必要があるように思われる。Yeh³⁾らは、このような観点から管路の周辺地盤の一部分が液状化したときの動的座屈の影響について地盤のばね定数を時間的、空間的に、指数関数近似することで検討している。本研究は、基本的には Yehらと同じ観点から、周辺地盤の一部分が液状化したときの管路の動的挙動を簡単なモデルを用いて検討したものであり、埋設管路の耐震性評価に一般に用いられている応答変位法の適用限界などを知ることの一つの目的としている。

2. 解析モデルと基本式 いま、図-1のような表層地盤中に埋設された長い直線管路の周辺地盤の一部分が液状化した場合を考え、この管路系を液状化区間と非液状化区間との境界で単純支持されたはりにモデル化した (図-2)。また、地盤の拘束は、管軸方向、管軸直角方向とも線形ばねに置き換えている。管路系への外力は、管路軸に沿って伝わる地震動の縦波成分を考え、このはりの両端での位相のずれに相当する変位を与える。この場合の運動方程式は、図-3(a), (b) を参考に、管軸方向と管軸直角方向の慣性力、初期たわみおよび曲げによるひずみの影響について考慮すると次のようになる。

$$\frac{\partial N}{\partial x} = -m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI \frac{\partial^2}{\partial x^2} (y - y_0) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left(N \frac{\partial y}{\partial x} \right) + k(y - y_0) + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{N}{AE} = -\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)^2 - \left(\frac{\partial y_0}{\partial x} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

ここに、 N : 軸力、 m : 単位長さの質量、 y : 管軸直角方向変位、 y_0 : 初期たわみ、 M : モーメント、 k : 地盤のばね定数、 u : 管軸方向変位、 EI : 曲げ剛性。なお、実際の計算では、これらの式を無次元化し、差分法を用いた。

3. 計算例 ここでは、埋設管の対象をSGP400Aとし、液状化時の管路の挙動に及ぼす細長比 l/r の変化 (70, 140, 420) による影響について検討した。また、地盤の拘束力の低下の影響についても地盤のばね定数を基準の値の $1/10$, $1/100$, $1/1000$ と変化させることによって考察した。地盤のばね定数の基準の値については、ガス導管耐震設計指針⁴⁾に示されている値を用いた。また、管路系への外力としては、はりの一端に一定速度 (50kine) の変位を与えた。図-4(a), (b), (c) は、それぞれ細長比を変化させたときの、応力波の

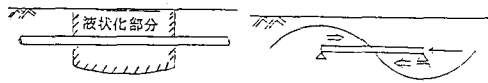
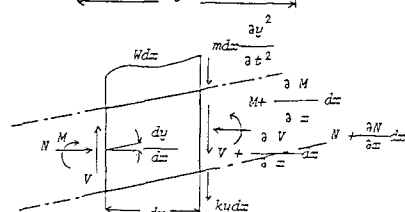
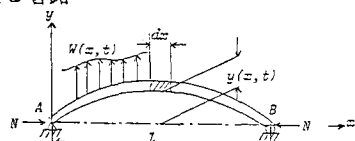
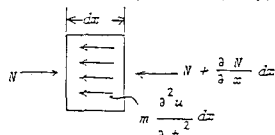


図-1 液状化した部分 図-2 軸方向力を受けるはりのモデル



(a) 軸直角方向の釣り合い



(b) 軸方向の釣り合い

図-3 動的変位を受けるはり

往復回数 T/L (ここに、 $T/L=ct/r$, c : 弾性波の速度, t : 時間, r : 断面 2 次半径, $L=l/r$) とはりの中央部での変位 y/r との関係、地盤支持力をパラメーターとして示したものである。これらの各図から、1) 変位の第一ピークの値は $T/L=40 \sim 60$ で生じ、細長比が大きくなるとその値も大きくなること、2) 動的な影響が現われるのは、細長比 $l/r=70$ では、 $k/100$ 以下のときであり、細長比 $l/r=420$ では、 $k/1000$ 以下のときであることがわかる。さらに、図-5 は、図-4 と同様に、応力波の往復回数 T/L とはりの中央部での動的軸力と静的軸力の比 ($N/N_e=P$) との関係を示したものである。この図から、軸力比 P の値は、細長比が大きく、地盤の拘束力が強いほど大きな値になることを示している。

これらのことは、細長比が大きい管では地盤の拘束力の低下に対し比較的安定であるが、細長比が小さい管では、拘束力が少しでも低下すると動的な影響を受けやすくなることを示している。

4. あとがき 以上、地盤の液状化時の動的座屈が埋設管の耐震性におよぼす影響について簡単なモデルを用いて検討した。その結果、細長比が小さいほど地盤の拘束力の低下に伴い動的な影響を受けやすくなっており、管径、液状化区間長、地盤の状態によっては、管体の動的挙動を無視できないことが明らかになった。なお、今後はより具体的な例を用いた数値解析とともに液状化時における地盤の評価について検討していく必要があると思われる。最後に、数値計算を行うにあたり本校土木工学教室山田正助教授から貴重な御助言を受けましたことを記し、謝意を表します。

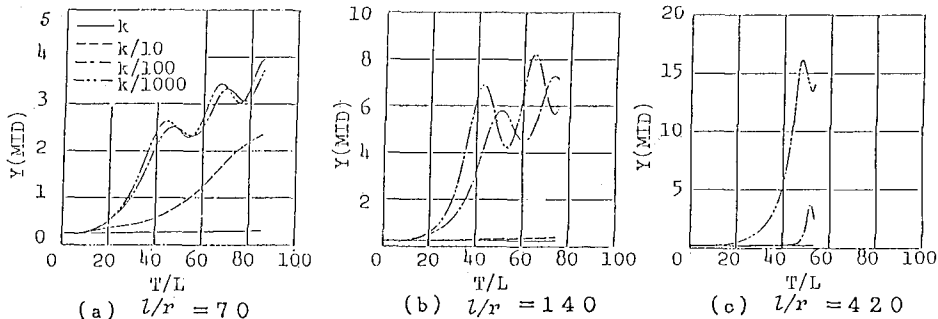


図-4 応力波の往復回数 T/L とはりの中央部での変位 y/r との関係

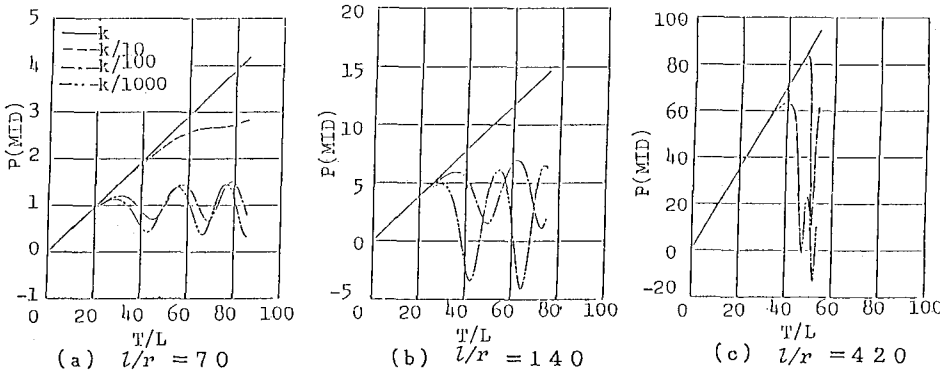


図-5 応力波の往復回数 T/L とはりの中央部での動的軸力と静的軸力の比 ($N/N_e=P$) との関係

(参考文献) 1) 南・清宮・土田: 液状化が海底パイプラインの応力度に及ぼす影響, 港湾技術研究所資料, No. 441, 1983. 3, 2) 北浦・宮島・吉岡: 不完全液状化時における地中埋設管模型の動的挙動, 構造工学論文集, Vol. 31A, 1985. 3pp. 421-426, 3) Yeh, Y. H. Y. and Wang, L. R. L.: Dynamic Responses of Buried Pipelines in a Soil Liquefaction Environment during Earthquakes, The 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, Japan on April 1-5, 1985. 4) 日本ガス協会: ガス導管耐震設計指針, 1982. 3.