

(111) 地震外力を受ける異型ガス管路の 3次元地震応答解析

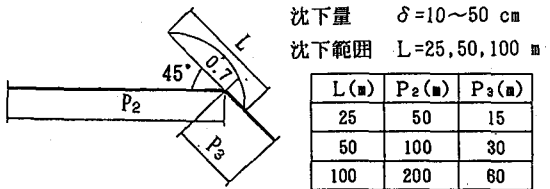
神戸大学工学部 高田 至郎
 神戸大学大学院 ○ 北野 哲司
 大阪ガス(株) 小川 安雄
 大阪ガス(株) 岡 正治郎

1. はじめに

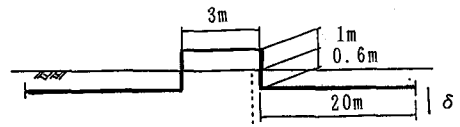
埋設管の地震時における被害の多くは、液状化可能性地盤の沈下や側方流動、地震波動などに起因するものである。そのため、かかる挙動や管路の耐久性をあらかじめ把握しておくことは地震対策上重要である。本研究では、かかる挙動を解析できる3次元地震応答解析法を開発して、管路異型部に対して地震波動の入射角と振幅、また地盤変状量と地盤変状範囲をパラメータとしたケーススタディーを実施して定量的に挙動把握を行った。

2. 地震外力モデル

図-1は、今回解析で用いた軟弱地盤沈下を受ける曲管路、架空配管そして地震波動、軟弱地盤沈下及び側方流動を受けるT字管路のモデルを示している(それぞれのモデルについては、異型部における変状量および変状方向を変化させて最大応力が発生する場合を選定した)。T字管路の地震波動は、T字部における振幅(波動の最大振幅 $U_h=1\text{cm}$ とし位相をずらすことにより変化させた。)と波動入射角を変化させた。またT字管路の軟弱地盤沈下は、最大沈下量を同一にして沈下範囲を平行移動させることによりT字部における沈下量を変化させた3ケースを用いた。また架空配管の軟弱地盤沈下は、右側の地中埋設部をステップ沈下させた。次に、管路は、鋼管・継手無し及びガク鋼管・継手有り、管径については、T字管路 200A×150A、曲管路、架空配管 200Aを使用した。管路材料・継手特性・地盤特性については非線形を考慮した。また地震波動T字部振幅量・沈下(側方流動)量・沈下(側方流動)範囲は、図中に示す通りである。



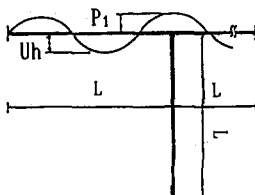
(a) 軟弱地盤沈下モデル(曲管路)



架空部：一様断面

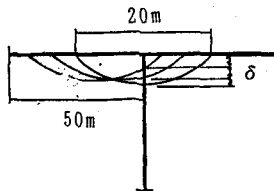
ステップ沈下量 $\delta=10\sim 50\text{ cm}$

(b) 架空配管モデル



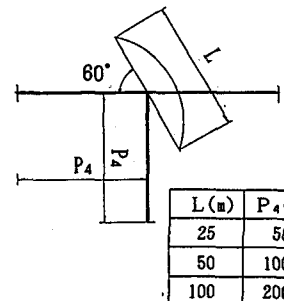
最大振幅 $U_h = 1\text{ cm}$
 T字部における振幅
 $P_1 = 1.0, 0.7, 0.3\text{ cm}$

(c) 地震波動モデル



現状を 0° とし時計回りを正とする
 T字部沈下量 $\delta = 1.0, 0.7, 0.3\text{ cm}$

(d) 軟弱地盤沈下モデル(T字管路)



(e) 側方流動モデル

図-1 地震外力モデル

3. 解析結果

a) 軟弱地盤沈下を受ける曲管路

図-2は、ダクタイル鋳鉄管， μ 2カ継手の沈下量 10cm、沈下範囲 25mの場合の管体ひずみ分布を示している。最大ひずみは沈下開始右端で発生しており、継手部では応力の低減がみられる。図-3は、同一のケースについての継手曲げ回転量を示している。この継手最大回転量は、地盤沈下開始右端地点である。右端の回転量が左端の値よりも大きいのは地盤変状の変化率が大きいためである。回転方向や回転量からも解るように管路変形が地盤変状によく追従している。図-4は、それぞれの沈下範囲に対しての沈下量とひずみの関係を示している。沈下範囲が短い方がひずみは、大きく発生しており変状の変化率に比例している。最大値は、沈下範囲 25m、沈下量 50cmで $\varepsilon_{max} = 0.1\%$ と管材材料弾性範囲内にあり管体の破壊ひずみと比較するとかなり小さい値である。このように、曲管の軟弱地盤沈下は曲げ部への応力集中が起こらず管路全体の変形によって応力を分担していると考えられる。

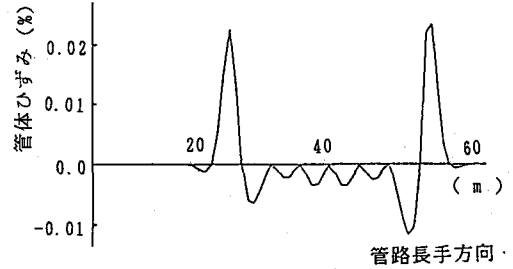


図-2 管体ひずみ分布

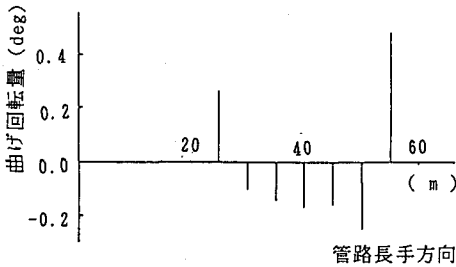


図-3 継手曲げ回転

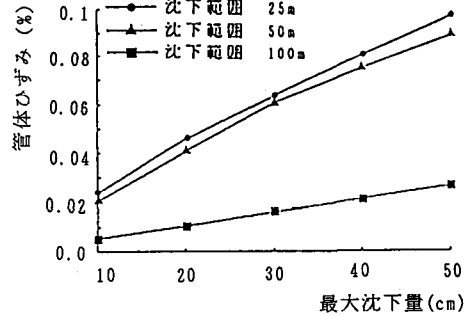


図-4 最大沈下量とひずみの関係

b) 地震波動を受けるT字管路

図-5は、モデル中のLを50mとし溶接鋼管を用いて、それぞれの地震波動（T字部振幅 = 1.0, 0.7, 0.3cm）による最大応力と波動入射方向の関係を示している。最大値は、T字部振幅 1cm、入射角 180° の場合で最大応力 $\sigma_{max} = 1605(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ である。比較的大きな応力が発生している上述のケースやそれぞれのT字部振幅の入射角 90° では、T字部近傍での主管、枝管の変位差が大きくなっており、そのためT字部において応力集中が発生している。逆に、入射角 135° や 225° では管体変位差が小さいため応力が減少している。次にL=125mのダクタイル鋳鉄管， μ 2カ継手を用いて、同一の地震波動（入射角 180° ，T字部振幅 1cm）に対する主管管体ひずみ分布を図-6に示す。直管路のひずみ分布と相似形でありT字部において溶接鋼管のような応力集中は発生していない。これは、溶接鋼管で見られた主管の滑りがあまり発生せず継手伸縮により管体変位が補われているからである。最大値は、地盤ひずみ 3000μ で溶接鋼管で 19%、ダクタイル鋳鉄管， μ 2カ継手では 0.03%となったが両者とも限界ひずみは越えていない。

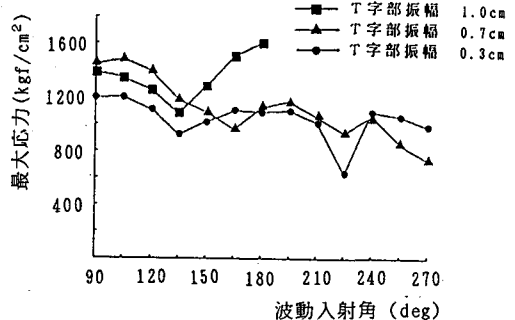


図-5 波動入射角と最大応力の関係

c) 軟弱地盤沈下を受けるT字管路

溶接鋼管を用いてT字部の沈下量とT字部に対する沈下方向について検討するために、図-1のモデルを用いて解析を行った。図-7は、それぞれの沈下に対する最大応力と沈下方向角の関係を示している。最大値を示しているのは、T字部の沈下量が1.0cmのケースが主管軸上（T字部に対して180°方向）で沈下した場合である。これは枝管部全長にわたり一定沈下することとなり、直管路の沈下状態とほぼ同じとなるため沈下を主管のみで耐えていることとなる。逆にT字部に対する沈下方向角が、135°や225°では沈下を主管と枝管の両方で分担しているため応力は減少している。

d) 側方流動を受けるT字管路

図-8は、溶接鋼管を用いた流動量10cm、流動範囲25mの場合の管体変形分布を示している。図-9は、同一のケースの主管管体ひずみ分布でありT字部で応力集中が発生しているのがわかる。これは、T字部の変位が他に比べてほとんどないことからわかるように、管軸方向地盤変位に対しては滑りが起こり、管軸直角方向地盤変位に対してはよく追随するという地盤と管の関係に大きく関与している。この場合、両者の地盤変位が存在するものの応力発生には、管軸直角方向変位のみが関与しているため枝管のT字部において最大応力が発生している。次に図-10は、同じ地震外力を同様モデルに管種を変えて（グクラル 鋳鉄管、ムカ加継手）与えたときの主管管体ひずみ分布で、継手伸縮や曲げ回転などにより低減されるため極度な応力集中はみられない。図-11は、主管継手の曲げ回転分布でありT字部近傍継手で正負の回転量が存在することから、T字部が回転していることがわかる。継手の最大回転量は、流動量50cm、流動範囲25mの時で $\theta_y=14.9^\circ$ とかなり大きな値であるが限界回転量範囲内である。

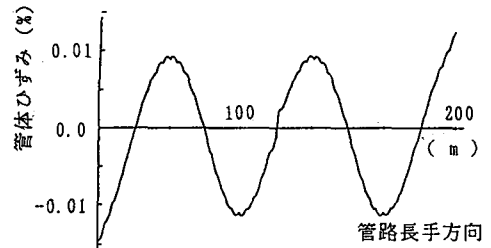


図-6 管体ひずみ分布

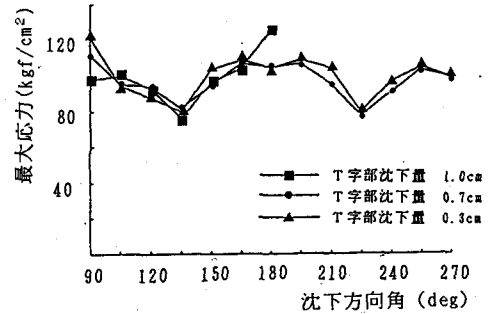


図-7 沈下方向角と最大応力の関係

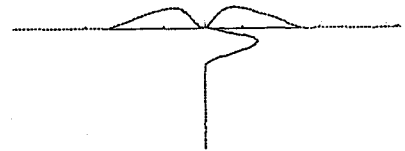


図-8 管体変位分布

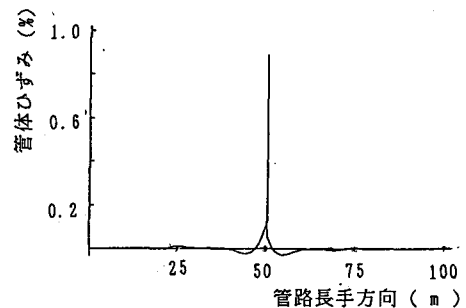


図-9 管体ひずみ分布

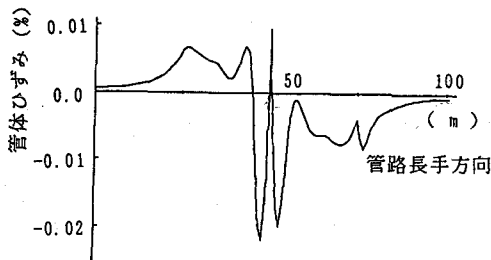


図-10 管体ひずみ分布

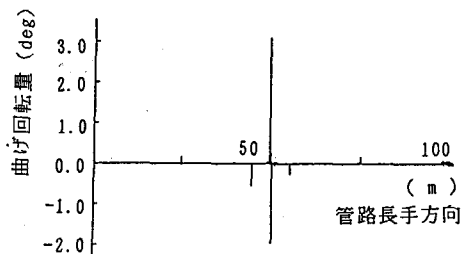


図-11 継手曲げ回転分布

e) 軟弱地盤沈下を受ける架空配管

図-12は、溶接鋼管を用いた架空配管のステップ沈下量10cmに対する管体変位分布であり、また図-13は管体ひずみ分布を示している。架空上部の水平部の左側では引張応力、右側では圧縮応力が発生している。最大応力は、左側埋設部の曲がり部近傍で発生している。架空配管では、応力を全体の配管系で分担するため極度な応力集中がないためステップ沈下量50cmでも最大ひずみ 1.0%と管材料塑性範囲に入っているものの破壊ひずみと比較するとかなり小さな値である。

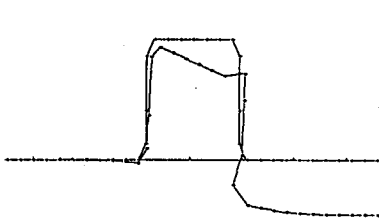


図-12 管体変位図

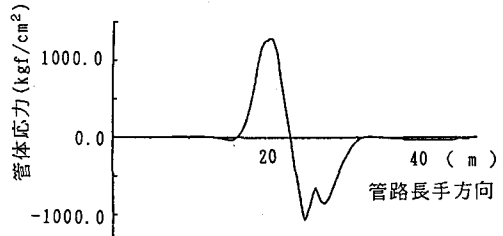


図-13 管体応力分布

4. まとめ

2次元的に配管された管路網であっても、軟弱地盤沈下や側方流動を受ける場合には外力が面外に作用するケースがあり、3次元的な応答解析が必要とされる。本研究では、かかる場合に解析可能となる計算手法の開発を行った。また、地震波動、側方流動や軟弱地盤沈下を受ける溶接鋼管、ダクタイル鋳鉄管-カニカ継手の曲管路、T字管路、架空配管に対してケーススタディーを行った結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 軟弱地盤沈下を受ける曲管路及び架空配管では、他の地震外力よりも安全である。
- (2) 溶接鋼管T字管路の最大応力は、T字部近傍の管軸方向地盤変位と管軸直角方向地盤変位に対する管路の追随性に大きく関与している。
- (3) 地震波動を受けるT字管路（溶接鋼管、ダクタイル鋳鉄管-カニカ継手）では、かなりの地盤ひずみまで耐えることが可能である。
- (4) 溶接鋼管の面外変状（軟弱地盤沈下）では応力集中が発生しにくい、面内変状（地震波動、側方流動など）では曲がり部及びT字部などに容易に応力集中が発生する。
- (5) 軟弱地盤沈下を受ける溶接鋼管T字管路の最大応力は、T字部の沈下量よりもT字部に対する沈下方向に大きく関与している。

5. 今後の課題

- (1) 実験や実現象のシュミレーションを行い解析精度の検討を行う必要がある。
- (2) はり要素を用いているため曲げ部やT字部での周方向の断面変形は、考慮されていないのでSHELL理論などをを用いたプログラムとのハイブリッド解析が必要である。
- (3) 変状範囲と変状量が管路応答に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

参考文献

- (1) 高田至郎・北野哲司ほか：地盤変状に対する直・異型ガス管路の3次元地震応答解析，平成3年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集
- (2) 高田至郎・高橋俊二・山部泰男：硬質塩化ビニル管の地震時挙動シミュレーション，水道協会雑誌，第547号，1980
- (3) 日本ガス協会：ガス導管耐震指針，1982，3
- (4) 中村秀治：数値誤差の改善を考慮した伝達マトリックス法の提案，土木学会論文報告集，第289号，1979.9
- (5) 田邊揮司良：地震時地盤変状を受ける地中管路の耐震性評価と設計法に関する基礎的研究，神戸大学学位論文，1988，1