

都市ガス埋設導管における地震時護岸流動被害 のリアルタイム推定手法に関する検討

小金丸健一¹・清水善久²・石田栄介³・磯山龍二⁴・亀井祐聡⁵・安田 進⁵

¹東京ガス株式会社 防災・供給センター (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

E-mail:kenici_k@tokyo-gas.co.jp

²東京ガス株式会社 防災・供給センター マネージャー (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

E-mail:yshimizu@tokyo-gas.co.jp

³日本技術開発(株) パブリックマネジメントセンター 防災・情報グループ 課長

(〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

E-mail:isidae@jecc.co.jp

⁴日本技術開発(株) パブリックマネジメントセンター センター長 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

E-mail:isoyama@jecc.co.jp

⁵基礎地盤コンサルタンツ(株) (〒102-8220 東京都千代田区九段北1-11-5)

E-mail:kamei.masaaki@kiso.co.jp

⁶東京電機大学 理工学部 建設環境工学科 (〒350-0311 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail:yasuda@g.dendai.ac.jp

都市ガスにおける高強度埋設導管では、被害事例が少ないためネジ継手鋼管のような統計的な被害推定は難しい。また、導管の耐震補強対策では、検討箇所の個別抽出が必要となる。そこで、「護岸背後地盤の液状化流動に起因する導管変形が限界値を超えると被害が発生する」という力学的関係を導管網の面的被害推定に適用する。本論では、膨大な導管網の中から要検討箇所を抽出するため、耐震設計指針の地震力を参考に P_L 値分布を作成し、 P_L 値5以上、護岸近傍100(m)の領域から該当導管を抽出する。また、最寄のボーリングデータから地盤モデルを作成し、地盤流動簡易推定式を用いて地震力に対する導管要素節点位置での地盤変位量を計算する方法を提案する。

Key Words : SUPREME, ALID, revetment, liquefaction, ground flow, F_L value

1. はじめに

高い強度を有する都市ガス埋設導管の被害推定では、被害事例が少ないためネジ継手鋼管のような統計的な被害推定¹⁾は難しい。また、導管耐震補強対策では要対策箇所のピンポイント抽出が望まれ、「単位延長当たりの箇所数」といった曖昧な手法では要求に応えることが出来ない。そこで、「地震動や地盤流動により発生する導管の変形や荷重が限界値を超えると被害が発生する」という因果関係を明確に表現し、都市ガス埋設導管の被害推定に適用することを考える。この解析手法を用いれば、地震動、地盤流動等、各要因に対する各導管要素の地震動許容値を算出することができる。本論で

は、護岸背後地盤の液状化流動による都市ガス埋設導管の被害推定手法に関する検討を行う。

2. 検討の流れ

都市ガス導管網は膨大な延長量があるため、様々な視点から検討対象の絞込みが必要である。そこで、 P_L 値分布、海岸・河川データ、地形・地盤データ等のデジタルデータを活用しつつ、必要に応じて現地調査も交えて絞込みを行う。本手法の流れを図-1に示す。 P_L 値分布は、各種指針等を参考に十分大きいと考えられる地震外力に対して作成したものをを用いる。

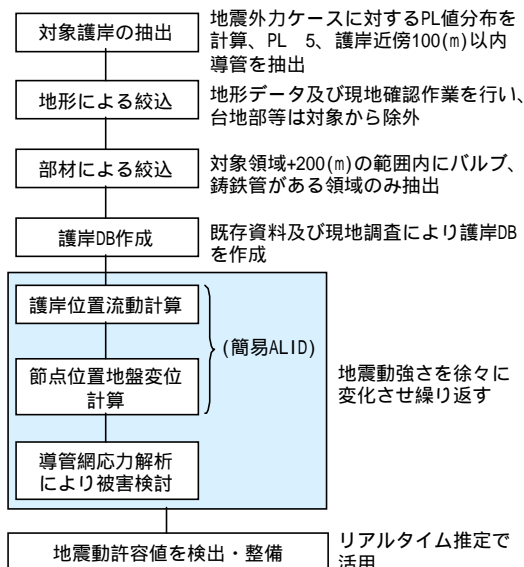


図-1 検討の流れ

導管网の応力解析を行うには各節点位置の地盤変位が必要だが、地盤変位は2次元FEM液状化流動解析プログラム「ALID」²⁾を用いて計算可能である。また、ALIDに必要な地盤パラメータの中から特に重要なパラメータを抽出し、代表的な地盤及び護岸サンプルデータの解析結果を回帰分析して得られた簡易式(ここでは「簡易ALID」と呼ぶ)が作成されている³⁾。簡易ALIDを用いて都市ガス埋設導管の各節点位置での地盤変位を計算し、この変位を管網に与えて応力解析により許容範囲内かチェックを行う。

全ての地表面地震動に対してこのような応力解析を行うことにより、地震動許容値を抽出し整備する。実地震時には、この許容値と観測された地震動を比較することにより、迅速な被害有無の判定が可能となる。

3. PL値分布の作成

低圧ガス導管のリアルタイム被害推定システム¹⁾では、大地震時の液状化層厚分布の作成に設計水平震度=一律0.4(海洋型地震)の地震外力を用いている。この震度の入力で、液状化対象層(深さ20(m)までのN値4~20程度の砂質土)がほぼ全て液状化抵抗率(F_L 値) < 1.0となるため、これ以上大きな震度を入力しても液状化層厚はあまり変わらないことが確認されている。

一方、高圧ガス導管液状化耐震設計指針⁴⁾(以後、ガス液状化指針)では、 P_L 5の領域を流動検討対象としており、 P_L 値分布を整備することで検討対象領域を絞り込むことができる。しかし、 P_L 値は各層の F_L 値の減少に伴い増大するため、 P_L 値分布の作成においては、低圧ガス導管の時(=液状化層厚使用時)に用いた地震外

表-1 想定する地震外力

設計基準	地震外力
ガス液状化指針 ⁴⁾	海洋型、 $K_n=0.4$ ¹⁾
	内陸型、 $K_n=0.8$
	海洋型、 $K_n=0.3, 0.35, 0.4$ (地盤種別毎)
	内陸型、 $K_n=0.8, 0.7, 0.6$ (地盤種別毎)
ガス耐震 ⁵⁾	海洋型、レベル2
	内陸型、レベル2

¹⁾ 低圧ガス導管対策で用いた地震外力

表-2 表層地盤の固有周期に対する各指針の設計地震動一覧

表層地盤の固有周期(s)		0.1	0.2	0.6	0.7
地盤種別		種地盤	種地盤	種地盤	
ガス液状化指針 ⁴⁾ (設計震度)	海洋型	0.3	0.35	0.4	
	内陸型	0.8	0.7	0.6	
ガス耐震 ⁵⁾ (最大速度)(cm/s)	海洋型	4 (cm/s) SI=6 (cm/s)	対数線形内挿		50 (cm/s) SI=75 (cm/s)
	内陸型	8 (cm/s) SI=12 (cm/s)	対数線形内挿		100 (cm/s) SI=150 (cm/s)

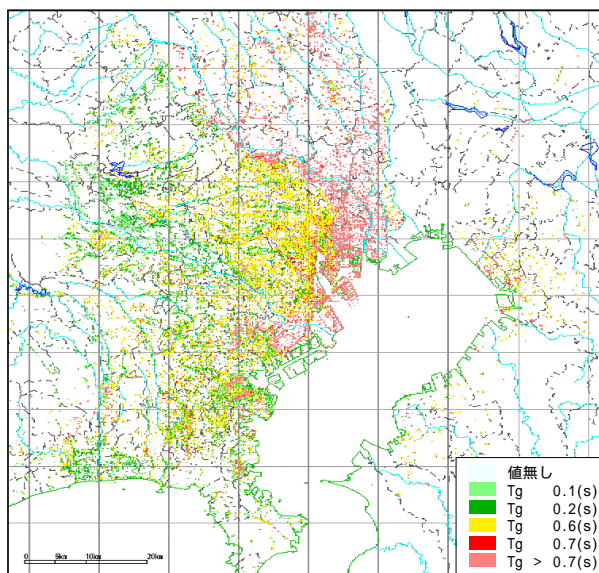


図-2 表層地盤の固有周期(ボーリング地点)

力だけでは必ずしも安全側とはいえない。また、高圧ガス導管耐震設計指針⁵⁾(以後、ガス耐震)は、液状化検討に関する指針ではないが、指針4)とは別の地震外力を想定しており、ガス導管に関する指針として、こちらにも配慮しておく必要がある。そこで、これらの指針を参考に表-1に示す地震外力を想定し、埋設ガス導管の検討を行うこととした。

表-1のケース ~ については、表-2のように各指針に従い表層地盤の固有周期を反映した地震動を与えることになる。ただし、ガス耐震⁵⁾では基盤地震動に対する応答速度が与えられているため、このままでは、ケース ~ の地震動はガス液状化指針⁴⁾の計算にのらない。そこで、一質点系から連続体への置換係数(4/)を乗じて地表最大速度(cm/s)とし、さらに最大速度からSI値への変換係数1.18を乗じて地表SI値(cm/s)とした上で、

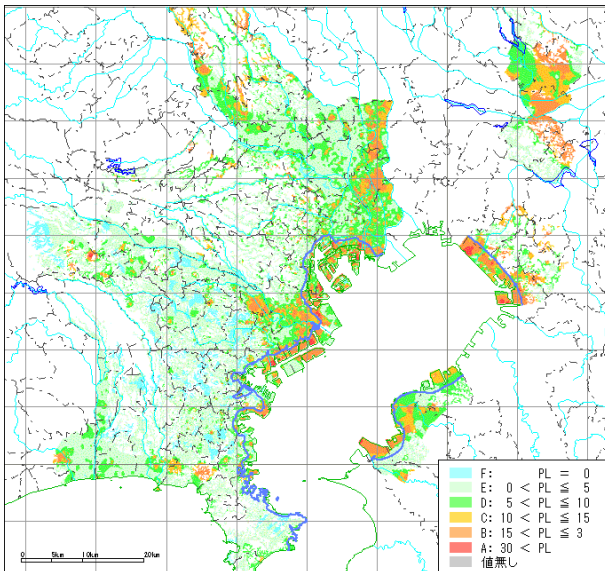


図-3 ケース の P_L 値分布(ガス液化化指針,内陸型)

安田らの方法⁶⁾により地震時せん断応力比を求めている。表-2のケース ~ では、変換された地表SI値(cm/s)を下段に併記している。ボーリング地点における表層地盤の固有周期分布を図-2に示す。また、一例として、ケース における P_L 値分布を図-3に示す。

4. 簡易ALIDによる流動計算

簡易ALID³⁾は、下式のようなパラメータを持つ。

$$D = f_1(L, L_{10}, D_{max}) \quad (1)$$

$$D_{max} = f_2(H_L, H_W, F_L, F_C) \quad (2)$$

$$L_{10} = f_3(H_L, H_W, F_L, F_C) \quad (3)$$

ここで、 D は節点位置の地盤変位(m)、 L は護岸から節点までの距離(m)、 D_{max} は護岸変位(m)、 L_{10} は影響範囲(m)(変位が10(cm)となる護岸からの距離)、 H_L は液化化層厚(m)、 H_W は水深(m)、 F_L は液化化に対する抵抗率(F_L 値)、 F_C は細粒分含有率(%)、 f_1 、 f_2 、 f_3 は関数を表し、護岸タイプ(矢板式/重力式)毎に用意されている。 H_L は F_L 法に基づく液化化判定⁷⁾において液化化層と判断された層の合計厚さであり、 F_L 、 F_C は同じく液化化層と判断された層の代表値を用いる。液化化判定には、地表面地震動強さを入力するので、 H_L 、 F_L 、 F_C のパラメータは、地表面地震動強さに依存することになり、結果的に D も地震動強さに依存する。東京ガスの地震防災システムSUPREME¹⁾の場合は、地震動観測指標としてSI値を用いており「許容SI値」を整備する必要があるので、SI値に基づく液化化判定手法⁶⁾を用いている。

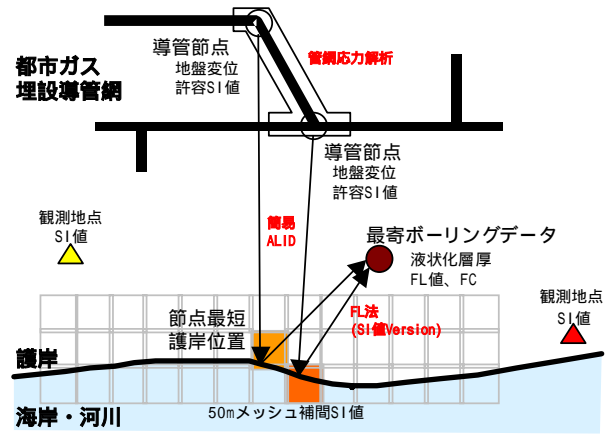


図-4 護岸背後地盤の簡易モデル化イメージ

5. 護岸データベースの作成

簡易ALIDで節点位置の地盤変位量(m)を計算するためには、水深(m)、護岸タイプ、節点から最短の護岸位置等の情報が必要である。また、 H_L 、 F_L 、 F_C のパラメータを算出するためには F_L 法を行うための地盤データが必要である。この地盤データは、節点位置からではなく、護岸位置から最寄のデータを用いるべきである。

これらのことを考慮し、護岸背後地盤モデルを図-4のように簡素化し、護岸データベースを作成した。同種護岸でも導管節点毎に最短護岸位置が異なるので、図-4では護岸自体のデータベースと分離して「導管節点-護岸リンク」のデータベースを別途整備している。簡易ALIDは、この導管節点-護岸リンク毎に計算されることになる。

なお、護岸データベース整備は、図-1で抽出された検討対象導管の関連護岸のみとし、河川護岸については川幅5(m)以上の河川を対象としている。河川・海岸情報としては、数値地図2500(空間データ基盤)の「内水面」データを用いてデジタル導管網データとの最短距離の自動計算を行った他、紙面の住宅地図から河川を読み取り個別確認も行っている。地盤データについては、文献1)で整備した6万本のボーリングデータベースの中から各護岸最寄の地盤データを抽出している。

実際に整備した護岸データベースとして、導管節点-護岸リンクの表示例を図-5に示す。図-5において、はボーリング地点を表しており、中の色は P_L 値を表している。また、背景のベタ塗り、50mメッシュに補間した P_L 値を示している。緑と赤の線分は導管網の線形を表しており、桃色の線分が導管節点-護岸リンクを表している。

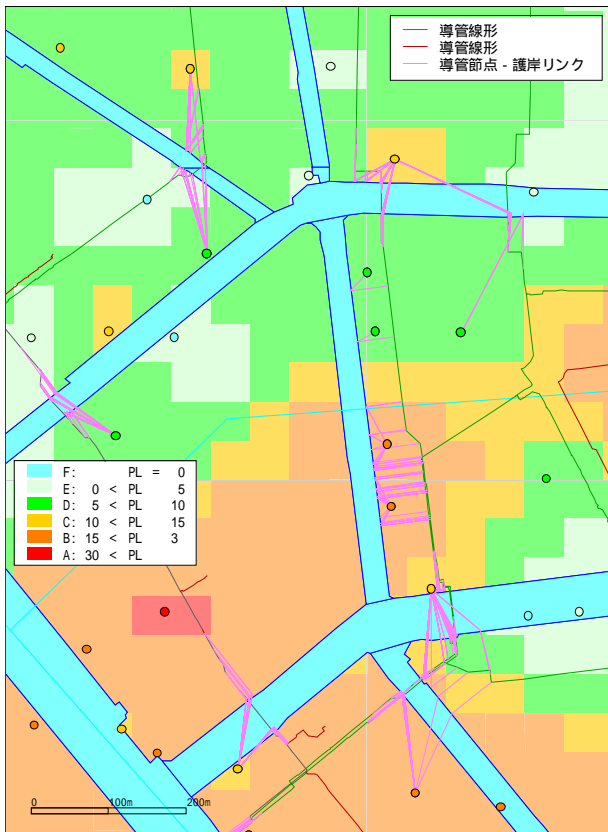


図-5 導管節点・護岸リンク表示例

7. 今後の課題

今回用いた表層地盤の固有周期(s)は、ガス液状化指針4)で「地盤種別」を決定する際に計算される「地盤の特性値」 T_G (s)である。しかし、ガス耐震⁵⁾で用いる固有周期は、 T_G とは若干計算方法が異なる上、大地震時には剛性低下によりS波速度を70(%)に低減させた固有周期を用いることになっている。両指針を組み合わせ

(2003.10.14 受付)

た検討については、今後も整合性を議論していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 清水善久, 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 小金丸健一, 中山渉: 都市ガス供給網のリアルタイム地震防災システム構築及び広域地盤情報の整備と分析・活用, 土木学会論文集, No.738 / I-64, pp.283-296, 2003.7
- 2) 安田進, 吉田望, 安達健司, 規矩大義, 五瀬伸吾, 増田民夫: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集, No.638 / -49, pp.71-89, 1999.
- 3) 安田進, 清水善久, 小金丸健一, 松本浩一: 東京地区の護岸背後地盤における流動に関する簡易式, 第37回地盤工学研究発表会, pp.2019-2020, 2002.7
- 4) (社)日本ガス協会: 高圧ガス導管液状化耐震設計指針 JGA指-207-01, 2001.12
- 5) (社)日本ガス協会: 高圧ガス導管耐震設計指針 JGA指-206-00, 2000.3
- 6) 安田進, 吉川洋一, 牛島和子, 石川利明: SI値を用いた液状化予測手法, 第28回土質工学研究発表会, pp.1325-1328, 1993.6.
- 7) 亀井祐聡, 森本巖, 安田進, 清水善久, 小金丸健一, 石田栄介: 東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響, 地盤工学会論文報告集, Vol.42 No.4, pp.101-110, 2002.8

STUDY ON THE REAL-TIME ESTIMATION OF THE CITY GAS PIPE NETWORK DAMAGE BY THE EARTHQUAKE REVETMENT FLOW

Kenichi KOGANEMARU, Yoshihisa SHIMIZU, Eisuke ISHIDA, Ryoji ISOYAMA, Masaaki KAMEI and Susumu YASUDA

In damage estimation of city gas pipe network with the high strength, the statistical estimation is difficult, because the damage case is little. And, it is not possible that "damage number per unit extension" responds to a demand, because the just point is desired, in the earthquake strengthening countermeasure of the pipe. Then, the stress analysis technique is applied to real-time damage estimation of the pipe network. In this paper, estimation method of the pipe network damage by liquefaction flow of the revetment hinterland board is examined.