液状化 有効応力解析法 有限要素法

1. はじめに

上下水道局・都市ガス事業者等、地中埋設パイプライン設備 を持つ事業者において南海トラフ地震等の巨大地震に対しても 耐震対策が重要となる。特に地上設備(圧力調整器等)は高い 地震時信頼性が求められるため、地中埋設管を含めた地震時挙 動の把握が必要となる。

本報では、名古屋の南部地区における液状化危険度が非常に 高い海上埋立人工地盤上に、地中埋設鋼管が連結された、鉄筋 コンクリート基礎を持つ小型鋼構造物が設置された場合の地震 時安定性について、簡易な二次元平面ひずみ条件下での数値解 析検証事例を示す。用いた解析コードは、土の骨格構造とその 働きの差異によって砂から粘土、両者が混在した中間土を同じ 理論的枠組みの中で記述する弾塑性構成式(SYS カムクレイモ デルⁱ⁾)を搭載した水〜土骨格連成有限変形解析^{ii),iii)}で、静的も 動的も区別なく扱う事ができる点が特徴である。

2. 解析対象の埋設鋼管を有する地盤および小型鋼構造物の モデル化

図-1に今回解析対象とした埋設鋼管を有する小型鋼構造物の 解析モデルを示す。幅約 3m の鉄筋コンクリート基礎の上に約 1 トンの鋼構造物が設置されている。埋設管は口径 150mm、管 厚 5.8mmの炭素鋼管である。表-1に用いた材料パラメータを示 す。アルファベットで示す箇所は重量が大きい。埋設鋼管は地 盤と応力境界を有し地盤の変状に追従する。平面ひずみ条件で の解析上、埋設鋼管は奥行き 1.0mの角パイプモデルとなるため、 丸パイプと等価となるようヤング率と密度を調節している。

地盤は、過去に著者らが研究対象とした、地震発生時の液状化 危険度が高い海上埋立人工地盤である^{iv)}。解析に用いた有限要素 メッシュ図を図-2に示す。非常に密な洪積砂層の上に、洪積砂層 が 10m、沖積砂層が 10m、さらに埋立砂層が 5m、水平成層に堆 積した地盤であり、ほとんどが砂質土で構成されている。埋立砂 層と沖積砂層は、原位置試験から密度が小さく、N 値も 0~5 程 度と軟弱であり、液状化の危険性が高いと考えられている。

解析で想定した地盤弾塑性性状の一覧を表-2 に示す。これらは、 実際の海上埋立人工地盤から採取した不撹乱試料の力学試験結 果を、SYS カムクレイモデルで再現することによって決定し ている。図-2 に示すように、解析領域は幅 218m、高さ 30m で、地表面は水圧が常にゼロの排水境界(大気圧境界)、地盤 の側面と底面は非排水境界とした。地盤下端節点は底面粘性 境界(Vs=600m/sec)を設け、地盤両側端要素には周期境界を 設けた。地震動は、地盤底面の水平方向に、図-3 で示す、南 海トラフの3 連動地震波"を入力した。最大加速度が約 300gal、 卓越周期が 0.2~0.4s であり、主要動継続時間は約 100 秒と非常に長い。

名古屋大学 正会員 〇野中俊宏 名古屋大学 国際会員 野田利弘、中井健太郎



表-1 構造物材料パラメータ

	ヤング係数	ポアソン比	密度 (g/cm ³)
鉄筋コンクリート	3.0×10 ⁷	1.0	10.4
コンクリート	3.0×10 ⁷	1.0	2.8
鋼管	3.0×10 ⁶	3.0	0.3
埋設鋼管	3.2×10 ⁶	3.0	0.3
A	3.0×10 ⁶	3.0	11.0
В	3.0×10 ⁶	3.0	13.5
С	3.0×10 ⁶	3.0	2.:
D	3.0×10 ⁶	3.0	10.0



図-2 地盤モデル





Seismic stability assessment of a steel structure with a steel pipe buried in loose sand layer: Nonaka.,T.,Noda,T. and,Nakai,K.(Nagoya Univ)

3. 埋設鋼管を有する小型鋼構造物の地震応答解析

0%

比較のため、図-4、5に小型鋼 構造物のみ設置した場合の、地 震発生から 150 秒後のせん断ひ ずみ分布および小型鋼構造物基 礎左端・中央・右端の時間~沈 下曲線を示す。小型鋼構造物周 辺でせん断ひずみが卓越し約 35cmの沈下が生じるが、不等沈 下は発生しておらず、傾倒しな い。これについては、小型構造 物基礎が約3トンと重量が大き く、十分に幅が広い構造になっ ているためである。

次に図-6~9 に埋設鋼管延長 2.0m および 8.2m とした場合の 各せん断ひずみ分布(地震発生 150 秒後)と小型鋼構造物基礎 左端・中央・右端の各時間~沈 下曲線を示す。埋設鋼管が無い 場合と同様に小型鋼構造物周辺 でせん断ひずみが卓越し沈下が 生じるが、紙面に対して右側に 傾倒してしまう。また埋設鋼管 左端部から地表に向かって浮き 上がっている。図-10に埋設鋼管 右端を基準高さとした鉛直変位 を示す。埋設鋼管延長が長い程、 鉛直変位の勾配が大きくなる。 これについては埋設鋼管の密度 が地盤に比べて小さくなってい ることから、浮力が発生し、紙 面に対して右回りの回転力が発 生したためであると考えられる。

5%図-4 せん断ひずみ分布(埋設鋼管無し) 0% 5%

図-6 せん断ひずみ分布 (2.0m)







図-5 鋼構造物基礎沈下量(埋設鋼管無し)



図-7 鋼構造物基礎沈下量(2.0m)



図-9 鋼構造物基礎沈下量(8.2m)

4. おわりに

地中埋設鋼管を有する軟弱砂層地盤上に設置した小型鋼構造物につい て簡易なモデル化による二次元地震時応答解析を実施した。小型鋼構造 物が埋設鋼管を有していなければ、基礎部分が構造物に対して重量があ り十分な幅を持っているため傾倒することは無いが、埋設鋼管を有する 場合は、その部分で浮力が比較的大きく発生し、小型鋼構造物は傾倒し やすくなることが分かった。つまり、簡易なモデル化によるものであっ たが、鋼構造物の傾倒を検討する上で、埋設管に作用する浮力の影響は 大きい可能性があることが分かった。今後は三次元のより詳細なモデル 化を通じて検討していきたい。



本稿は、地盤工学会東日本大震災対応調査研究委員会「地盤変状メカ ニズム研究委員会(委員長:浅岡顕)」に関連する研究報告である。

図-10 埋設鋼管の鉛直変位量

v) 内閣府 中央防災会議, 東海東南海南海地震公開データ

i) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002.

ii) Asaoka, A. and Noda, T.: All soils all states all round geo-analysis integration, International Workshop on Constitutive Modelling - Development, Implementation, Evaluation, and Application, pp.11-27, 2007. iii) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, , Soils and Foundations, Vol.48, No.6,

^{771-790, 2008.}

iv) 中井健太郎, 野田利弘, 中野正樹, 浅岡顕: 軟弱層を含む海上埋立人工地盤の地震応答解析, 第21回中部地盤工学シンポジウム, pp.71-74, 2009.