

液状化地盤上に建設された鋼板組立柱の地震時安定性評価

名古屋大学 (正) ○中井健太郎, 野田利弘, 中野正樹, (学) 清水亮太, 濁川直寛
 ㈱浅沼組 (正) 高稲敏浩
 東邦ガス㈱ (正) 太田真立, 森栄爾, 古田裕之

1. はじめに

東邦ガス㈱では、都市ガスの安定供給のため、自営の無線回線を利用して、都市ガスパイプラインの圧力や流量を遠隔で監視制御している。また大規模地震時には供給区域内に約190基設置した地震計データの入手や、被害が大きい地域へのガス供給停止も遠隔操作にて行う。このため、無線回線には高い信頼性が必要となる。無線回線は、建物の屋上や山上等に設置される中継用無線鉄塔と監視制御を行うガス供給設備に設置される鋼板組立柱（以下、パンザマスト）によって構成される。東邦ガス㈱ではこれまで、無線回線の信頼性の更なる向上のため、無線設備の耐震診断や無線回線の複線化等を実施しており、今回未実施であった地震による液状化が発生した場合のパンザマストへの影響について評価を実施した。本報では、仮想的に液状化危険度の非常に高い海上埋立地盤上にパンザマストが設置されたときの地震時安定性評価を数値解析的に検証した。用いた解析プログラムは、土の骨格構造（構造・過圧密・異方性）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¹⁾）を搭載した水～土骨格連成有限変形解析^{2),3)}で、静的も動的も区別なく扱う事ができる。

2. 構造物未設置時の地盤の地震応答解析

解析に用いた有限要素メッシュ図を図-1に示す。軟弱な砂層が厚く堆積しており液状化の危険性が高い。解析に用いた弾塑性性状の一覧を表-1に示す。これらは、実際の海上埋立地盤から採取した不攪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。各層で比体積と構造の程度は均一と仮定し、土被り圧に応じて過圧密比を分布させた。地表面は排水境界、地盤の側面と底面は非排水境界とした。地震動は、地盤底面の全有限要素節点の水平方向に、図-2に示す、東海東南海南海3連動型地震波⁴⁾を入力した。地盤下端節点は底面粘性境界（ $V_s=600\text{m/sec}$ ）を設け、地盤両側端要素には側方境界要素単純せん断変形境界⁵⁾を設けている。

各層中央部における、地震中～地震後の要素挙動を図-3に示す。基盤層（泥岩）ではほとんど変形が生じないものの、その上部に堆積する砂層はいずれも、地震中に有効応力がゼロ付近まで減少して液状化に向かっている様子が伺える。地震後は有効応力の回復に伴って比体積が減少（圧密沈下）する。

3. パンザマスト設置時の地震応答解析

パンザマストは、直径 0.3m、高さ 15m 程度の比較的軽量の鋼製中空円筒柱である。地中の根巻コンクリート部および柱部は、実際の構造物を参考に、等価な重量と剛性を有する一相系弾性体でモデル

地震応答解析、砂、液状化、地盤と構造物の相互作用

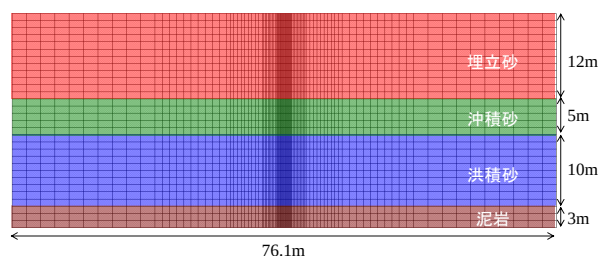


図-1 解析に用いた地盤の有限要素メッシュ

表-1 弾塑性性状の一覧

		泥岩	洪積砂	沖積砂	埋立砂
弾塑性	限界状態定数 M	0.60	1.10	1.10	1.10
	NCLの切片 N	2.10	1.989	1.989	1.989
	圧縮指数 $\bar{\lambda}$	0.17	0.05	0.05	0.05
	膨潤指数 $\bar{\lambda}^*$	0.003	0.0002	0.0002	0.0002
	ボアソン比 ν	0.3	0.3	0.3	0.3
発展則	構造劣化の塑性尺度 (IREV)	4	4	4	4
	$-D_v^*$ と D_v^* の割合 c_s	1.0	1.0	1.0	1.0
	構造劣化指数 a ($b=c=1.0$)	0.01	5.0	5.0	5.0
	正規圧密土化指数 m	10.0	0.12	0.12	0.12
	回転硬化指数 br	0.001	3.0	3.0	3.0
物性	回転硬化境界面 m_b	1.0	0.9	0.9	0.9
	土粒子密度 ρ_s (g/cm^3)	2.707	2.675	2.675	2.675
	透水係数 k (cm/s)	1.0×10^{-7}	4.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}
	初期比体積 v_0	1.70	1.798	1.935	1.914
	初期応力比 η_0	0.545	0.545	0.0	0.0
初期値	初期構造の程度 $1/R_0^*$	50.0	1.4	1.4	1.4
	初期過圧密比 $1/R_0$	$2.8 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^2$	$3.7 \times 10^1 \sim 5.8 \times 10^1$	$3.9 \times 10^0 \sim 5.2 \times 10^0$	$8.6 \times 10^0 \sim 1.8 \times 10^1$
	初期異方性の程度 ζ_0	0.0	0.545	0.7	0.7

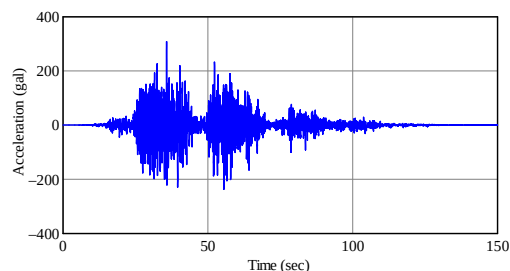


図-2 入力地震波

ル化した．実際のパンザマストは地震時の転倒対策として通常 2～3m の根巻深さを有するが，今回の解析では根巻深さが 2m と 1m の 2 ケースを想定した．

図-4 には根巻深さが 2m の時，図-5 には根巻深さが 1m の時のせん断ひずみ分布を示す．また，図-6 には柱先端における変状を示す．ともに根巻周辺でせん断ひずみが卓越している．根巻深さが 2m の時，柱は左右に揺れながらも安定を保つが，根巻深さが 1m の時には地震中に傾倒してしまう．沈下量を見ると，地震中に約 10cm 沈下した後，地震後の圧密沈下によってさらに 30cm 程度沈下する．砂質地盤の液状化によって地盤は支持力を失うが，根巻深さが 1m の場合には液状化層の流動に伴って上部構造物は不安定となる．

4. 傾倒防止対策の一検討

簡単な傾倒防止対策として，柱底部にコンクリートによる補強（舗装）を行った．補強部分は厚さ 0.1m，幅 0.9m とし，解析では補強部分は柱と一体化している．図-7 は，図-5 で傾倒した根巻深さ 1m のケースに補強した場合のせん断ひずみ分布

（地震発生から 30 年後）であり，補強によって傾倒を防ぐ事ができる．図-4,5 と比較すると，柱下部におけるせん断ひずみ分布が広がっており，補強によって地面との設置面積が大きくなり，荷重分散させた効果だと考えられる．

5. おわりに

地表付近が液状化の危険性の高い地盤では，液状化に起因する地盤流動が原因となって上部構造物が不安定となる．簡単な傾倒防止策としては，地盤との設置面積を広げることが有効であることを数値解析によって示した．

1) Asaoka, A. et al. (2002): An elasto-plastic description ..., *S & F*, 42(5): 47-57. 2) Asaoka, A. and Noda, T. (2007): All Soils All States All Round..., International Workshop on Constitutive Modeling..., Hong Kong, pp.11-27. 3) Noda, T. et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis..., *S&F*, 48(6), 771-790. 4) 内閣府中央防災会議 東海・南海地震公開データ 5) 吉見吉昭, 福武毅芳(2005): 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 技報堂出版.

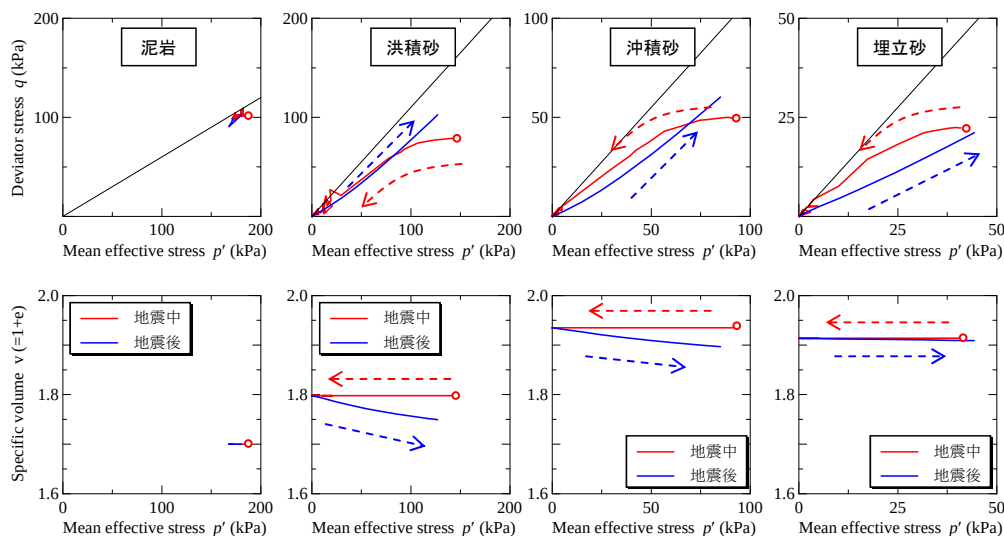


図-3 各層の要素挙動

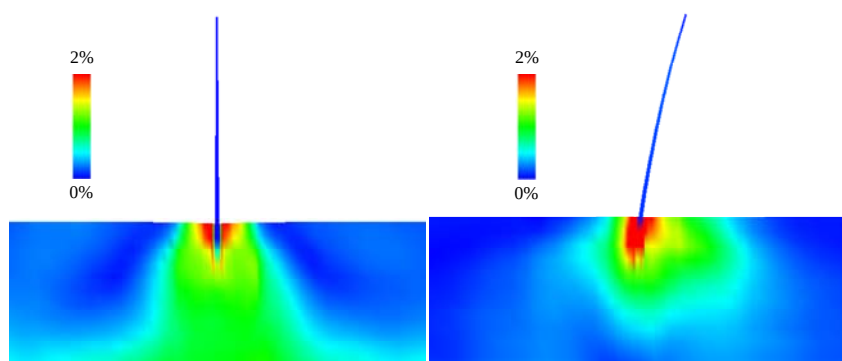


図-4 根巻 2m (地震発生から 30 年) 図-5 根巻 1m (地震発生から 50 秒)

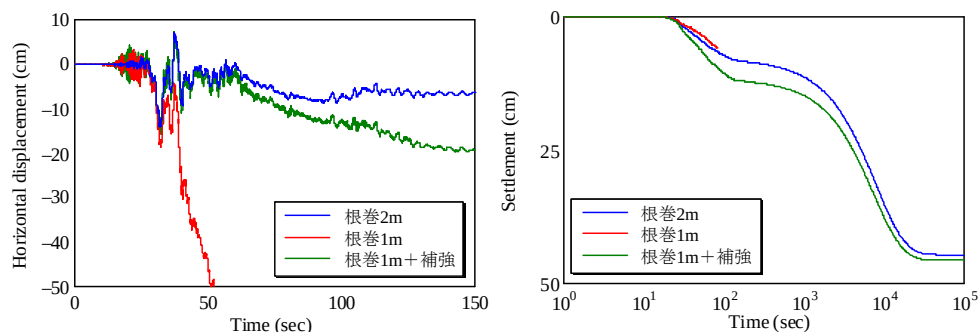


図-6 パンザマストの変状

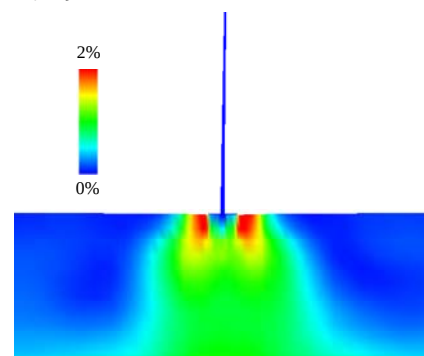


図-7 根巻 1m 対策有り
(地震発生から 30 年)