

# 鋼板組立柱の地震時安定性に及ぼす液状化層厚の影響

液状化, 地震応答解析, 有限要素法

名古屋大学 国際会員 ○中井健太郎 野田利弘  
 学生会員 徐賓賓  
 (株)浅沼組 正会員 高稲敏浩  
 東邦ガス(株) 非会員 長谷川友里

## 1. はじめに

東邦ガス(株)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. 大規模地震時には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ため, 無線回線には高い信頼性が必要となる. この無線回線は, 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. これまでに, 軟弱な砂質埋立地盤上に設置されたパンザマストの地震時安定性評価を数値解析的に検証し, 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こと, 簡単な傾倒防止策としては柱底部にコンクリートによる補強(舗装)を行い, 地盤との設置面積を広げることが有効であること, を示してきた<sup>1)</sup>. 本報ではさらに, 液状化層厚の違いおよび補強方法の違いが上部構造物の地震時安定性に及ぼす効果について検証した. 解析プログラムは, 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<sup>2)</sup>)を搭載した水-土骨格連成有限変形解析<sup>3),4)</sup>で, 静的も動的も区別なく扱う事ができる.

## 2. 解析条件

解析に用いた有限要素メッシュを図-1に示す. 第三紀泥岩層の上に密な洪積砂層が10m堆積しており, その上に液状化の危険性がある中密な沖積砂層が堆積している. 沖積砂層は10m(A地盤)と3m(B地盤)の

2通りを想定した. 解析に用いた弾塑性性状の一覧を表-1に示す. これらは, 実在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<sup>5)</sup>, 土被り圧に応じて過圧密比を分布させた. パンザマストは, 底部直径0.36m, 端部直径0.25m, 高さ15mの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, 実物の構造物を参考に, 等価な重量と剛性を有する一相系弾性体でモデル化した. 実際は地震時の転倒対策として2~3mの根巻深さを有するが, 今回の解析では仮想的に根巻深さが1mと危険な状態を想定した解析を実施した. 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, 中央防災会議が定める東海・東南海・南海3連動型地震波を入力した(図-2). 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<sup>6)</sup>を設けた.

## 3. 液状化層厚がパンザマストの地震時安定性に及ぼす影響

図-3と図-4には, 地震発生から30年後のせん断ひずみ $\varepsilon_s$ 分布を, 図-5にはマスト先端における水平変位を示す. 沖積砂層(液状化層厚)の厚いA地盤では, 地震中~地震後にほとんど水平変位が発生せずパンザマストは安定を保つが, 液状化層厚の薄いB地盤では, 地震中に左右に揺れながらパンザマストは次第に傾いてい

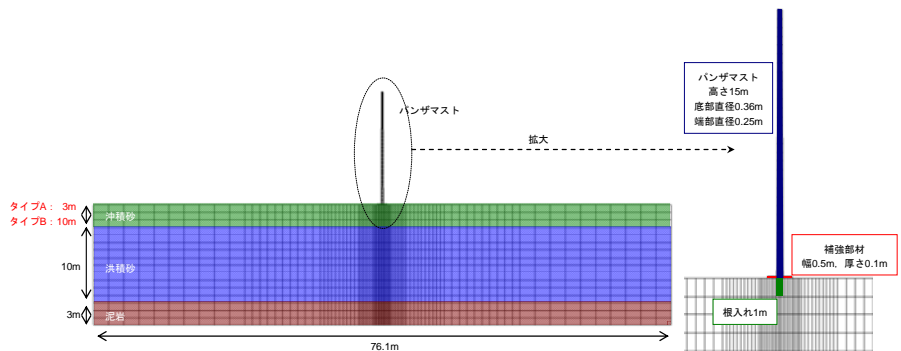


図-1 解析に用いた有限要素メッシュ

表-1 解析に用いた弾塑性性状

	$\bar{\kappa}$	泥岩	洪積砂	沖積砂
弾塑性性	限界状態定数 $M$	0.60	1.10	1.10
	NCLの切片 $N$	2.10	1.989	1.989
	膨潤指数 $c_s$	0.17	0.05	0.05
	膨潤指数 $a$ ( $b=c=1.0$ )	0.003	0.0002	0.0002
	ポアソン比 $m$	0.3	0.3	0.3
発展則	構造劣化の弾性尺度 (REV) と $\mu$ 割合	4	4	4
	構造劣化指数	0.01	5.0	5.0
	正規圧密土化指数	10.0	0.12	0.12
	回転硬化指数	0.001	3.0	3.0
物性	回転硬化臨界面	1.0	0.9	0.9
	土粒子密度 $\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.707	2.675	2.675
	透水係数 ( $\text{cm/s}$ )	$1.0 \times 10^{-7}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$
初期値	初期比体積 $s_0$	1.70	1.72	1.98
	初期心力比	0.545	0.545	0.545
	初期構造の程度	50	1.4	5.0
	初期過圧密比	363~404	243~489	10.5~80.5
	初期異方性の程度	0.545	0.545	0.545

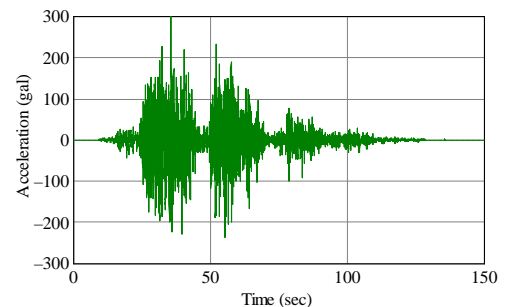


図-2 入力地震波

Seismic stability assessment of a steel plate built up column with different liquefiable layer thickness

Nakai, K., Noda, T. and Xu, B. (Nagoya University), Takaine, T. (Asanuma Co., LTD), Hasegawa, Y. (Toho gas Co., LTD.)

き、最終的には 40cm 程度の水平変位 (3%の傾き) を生じる。  $\varepsilon_s$  分布を比較すると、B 地盤に比べて A 地盤は  $\varepsilon_s$  の発生が小さいことがわかる。そこで図-6 には、AB 両地盤の地表面で観測された加速度応答を示す。液状化層厚の厚い A 地盤では、液状化によって加速度が大きく減衰してしまっている。一方の B 地盤では、液状化層厚が薄いので地震中の加速度の減衰の程度は小さく、バンザマストで大きな揺れが発生していることがうかがえる。

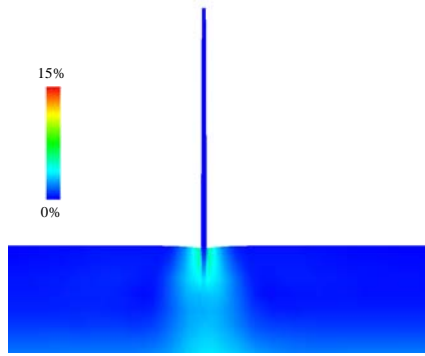


図-3 30年後の  $\varepsilon_s$  分布 (A-対策なし)

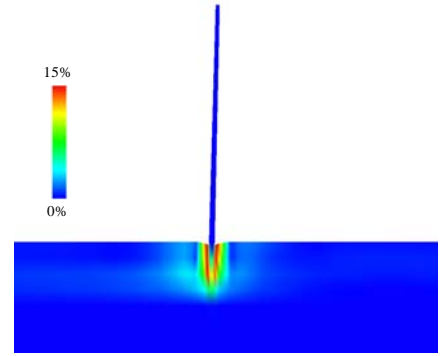


図-4 30年後の  $\varepsilon_s$  分布 (B-対策なし)

#### 4. 補強方法の違いがバンザマストの地震時安定性に及ぼす影響

軽量の構造物の転倒防止対策としては、構造物底部の補強・拡幅によって地盤との設置面積を広げることが簡単かつ有効であるが、既設構造物への対策の際には、必ずしも四方全方位への補強を行うことができるとは限らない。ここでは B 地盤に対して、構造物底部への補強が十分な場合 (B-両側対策) と不十分な場合 (B-片側対策) の対策効果について数値解析的に検討する。図-7 と図-8 には、地震発生から 30 年後のせん断ひずみ  $\varepsilon_s$  分布を、図-9 にはマスト先端における水平変位を示す。両側に補強を施した場合は、対策のない場合に比べて水平変位量が抑えられている。マスト底部の  $\varepsilon_s$  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。一方の片側対策では、上載荷重が偏芯してしまい、逆に構造物の不安定化を招いている。近接構造物の影響で全方位の補強が困難な場合は、補強面積を拡大する、あるいは補強できない面に対してアンカーを打設するなど、他工法との組み合わせが望まれる。

#### 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。液状化層厚が厚いと加速度の減衰によって構造物は大きく揺れないが、液状化層厚が薄いと、減衰の程度が小さいため、上部構造物の安定性が低くなることを数値解析によって示した。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が、補強方法を十分に検討しないと、逆に被害を増大させてしまう可能性があることを指摘した。

参考文献 1) 中井健太郎他(2010): 液状化地盤上に建設された..., 第 65 回年次学術講演, 699-700. 2) Asaoka, A. et al. (2002): An elasto-plastic description..., S&F, 42(5): 47-57. 3) Asaoka, A. and Noda, T. (2007): All Soils All States All Round..., International Workshop on Constitutive Modeling..., Hong Kong, 11-27. 4) Noda, T. et al. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis..., S&F, 48(6), 771-790. 5) Noda, T. et al. (2005): Progressive consolidation settlement of..., S&F, 45(5), 39-51. 6) 吉見吉昭, 福武毅(2005): 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 技報堂.

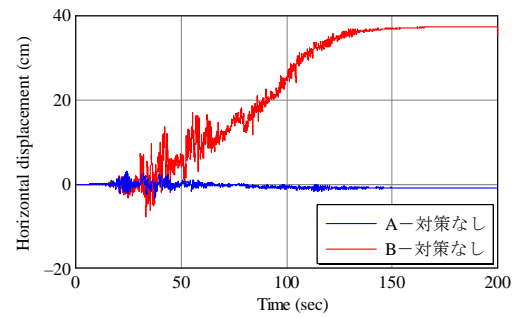


図-5 液状化層厚の差異による水平変位の比較

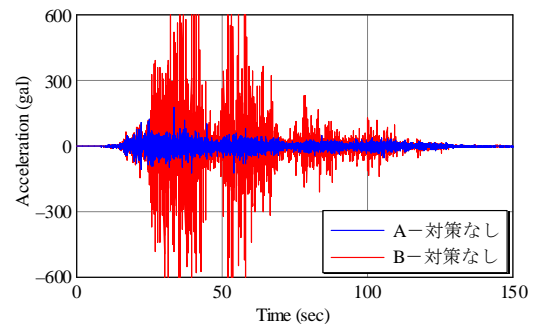


図-6 地表面での加速度応答比較

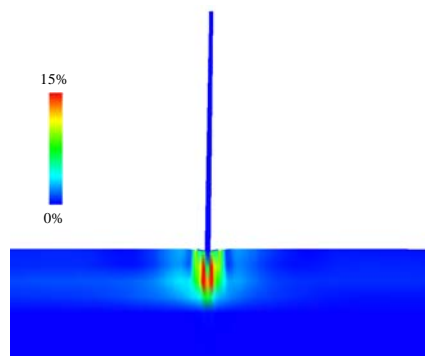


図-7 30年後の  $\varepsilon_s$  分布 (B-両側対策)

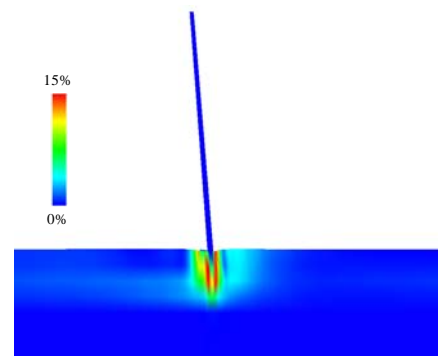


図-8 30年後の  $\varepsilon_s$  分布 (B-片側対策)

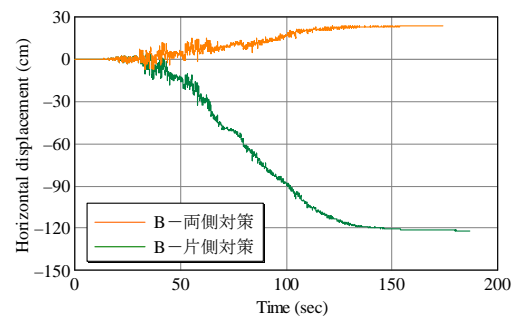


図-9 対策方法の差異による水平変位の比較