

Ⅲ - A137

地上タンクの液位が液状化時の沈下挙動に及ぼす影響の検討

大成建設（株） 正会員 名合牧人 立石 章 田口洋輔 須網功二

1.はじめに

地上タンクの基礎地盤は、タンクの液位が高い程、同地盤内の応力が大きくなる。また、これに伴いその剛性が大きくなる。しかし、地震時外力は、液位が違う場合、タンク-地盤系の固有周期が異なることや地震波の特性等により、どちらが大きくなるか明らかでない。このため、液位の相違による液状化時の沈下量の大小は一概には判断できない。

そこで本研究では、地上タンクの液位が液状化時の沈下挙動に及ぼす影響を解析的に検討した。更に、対策工を施した場合についても同様の解析を行い、その沈下抑制効果についても検討した。尚、解析コードは弾塑性構成モデル^{1, 2)}を用いた有効応力法に基づく二次元液状化解析プログラム LIQCA³⁾を用いた。

2.検討条件

タンクは、直径26m、容量は10,000klのものを想定し、その液位は半液時と満液時を仮定した。地盤は川崎地区人工島の代表地盤をモデル化した。地層構成は地表面よりN値5、10、20相当の細砂とN値5相当のシルト質粘土からなるものとした（図1参照）。同地盤は、道路橋示方書（平成2年2月）に従うと、N値5、10の砂層がFL値1.0以下となる。

地震動は道路橋の免震設計法マニュアル（案）による標準加速度波形（レベルⅠ、第1種地盤）を用いた。

3.解析ケース及び解析モデル

解析は、無対策、地下水位低下工法、グラベルドレーン工法、及び鋼矢板リング工法の4ケースについて、それぞれ半液時と満液時の2ケース行い、合計8ケース行った。図1に無対策の場合の解析モデル図を示す。境界条件は、底面は粘性境界、地盤側方は等変位境界とした。また、地下水位面は排水境界、側面及び底面は非排水境界とした。図2に対策工を施した場合の解析モデル図を示す。初期応力は、別途事前に、地盤を弾完全塑性モデルとした初期応力解析を実施して設定した。

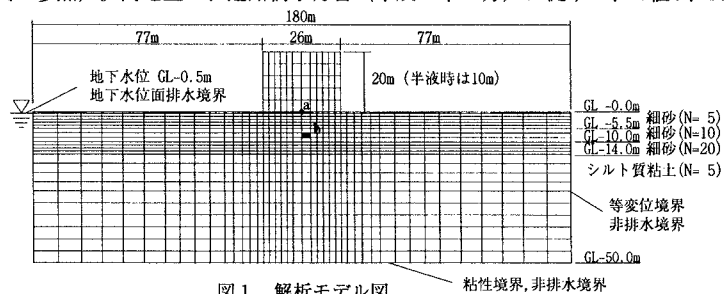


図1 解析モデル図

図1に無対策の場合の解析モデル図を示す。境界条件は、底面は粘性境界、地盤側方は等変位境界とした。また、地下水位面は排水境界、側面及び底面は非排水境界とした。図2に対策工を施した場合の解析モデル図を示す。初期応力は、別途事前に、地盤を弾完全塑性モデルとした初期応力解析を実施して設定した。

ケース	地下水位低下工法	グラベルドレーン工法	鋼矢板リング工法
モデル			
諸元	地下水位を5m低下	- ドレーンはFL値1.0以下の砂層に打設 - ドレーン直径は0.5m - ピッチは1.2m - 配置は正方形配置	- 鋼矢板はFL値1.0以下の砂層と根入れ2mに打設 - 鋼矢板リングの直径は31m、鋼矢板（YSP-F型）の長さは12m
解析		- ドレーン打設領域をマクロエレメント¹⁾でモデル化 - ドレーン打設地盤の剛性の増加は考慮していない	鋼矢板リングはリング効果及びせん断剛性が等価となるようフレームでモデル化

図2 解析ケース及び対策工の諸元

4.解析結果及び考察

満液時のタンク基礎地盤の初期せん断弾性係数は、剛性が平均主応力の1/2乗に比例することを考慮すると、半液時と比較して最大で $\sqrt{2}$ 倍になる。このことを踏まえて、以下に解析結果を考察する。

既設地上タンク、液状化、有効応力解析、液状化対策工

〒163-06 東京都新宿区西新宿1-25-1（新宿センタービル）

TEL 03-5381-5289 FAX 03-3345-1914

4.1 無対策の場合

図3に無対策の場合の半液時と満液時のタンク直下（図1のa点）における沈下挙動を示す。図より、どちらの場合も震動中に大きな沈下を示すことが分かる。このことは、基礎地盤が過剰間隙水圧の消散により圧密沈下することに加えて、震動中にタンク下地盤が側方に変位すること

（以後側方変位と呼ぶ）による。また同図より、満液時の沈下量は、半液時のそれと比較して、大きいことが分かる。このことは図4のタンク直下地盤（図1のb点）における過剰間隙水圧比（過剰間隙水圧/有効上載圧）の経時変化図より説明される。同図において、半液時と満液時の過剰間隙水圧比がほぼ等しくなることから、満液時と半液時の平均主応力の比が常にほぼ一定の値となることが分かる。このことは、満液時の基礎地盤の剛性が、半液時のそれと比較して、常に最大で $\sqrt{2}$ 倍になることを示す。この結果、満液時の側方変位による沈下及び圧密沈下は、満液時の上載圧及び過剰間隙水圧が常に半液時のほぼ2倍であることを考慮すると、半液時のそれと比較して、大きくなると考察される。更に、解析では、塑性に係わる剛性がひずみレベルに依存することを考慮すると、沈下の増加する傾向が助長されることが考えられる。

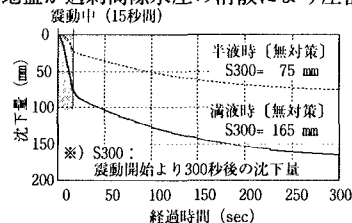


図3 タンク直下における沈下曲線（無対策）

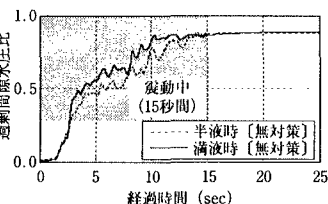


図4 過剰間隙水圧比の経時変化（無対策）

4.2 対策工を施した場合

各対策工の比較については別報に譲り⁴⁾、ここでは各対策工の半液時と満液時の比較についてのみに言及する。図5～10に、地下水位低下工法、グラベルドレーン工法及び鋼矢板リング工法の場合の、タンク直下における、半液時と満液時の沈下挙動及び過剰間隙水圧の経時変化を示す。沈下図より、全てのケースについて満液時の方が半液時と比較して沈下量が大きいことが分かる。このことは、過剰間隙水圧の経時変化図において過剰間隙水圧比がほぼ等しくなることから、4.1と同様の考察により説明される。また、グラベルドレーン工法の場合と鋼矢板リング工法の場合は、無対策の場合と比較して、沈下量は半液時と満液時とで差が小さいことが分かる。このことは、それぞれの対策工が対策工内地盤の側方変位を低減したことによる。

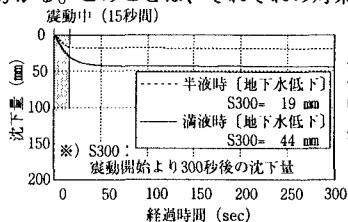


図5 タンク直下における沈下曲線（地下水低下）

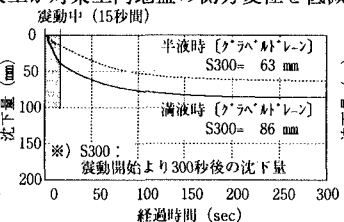


図6 タンク直下における沈下曲線（グラベルドレーン）

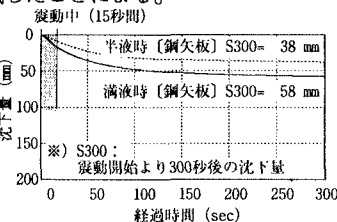


図7 タンク直下における沈下曲線（鋼矢板）

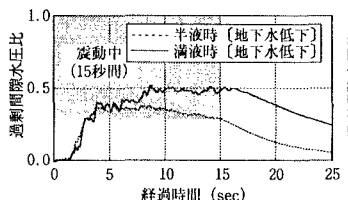


図8 過剰間隙水圧比の経時変化（地下水低下）

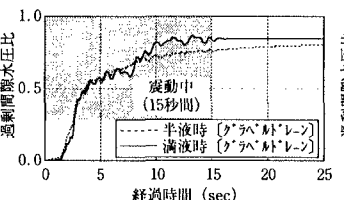


図9 過剰間隙水圧比の経時変化（グラベルドレーン）

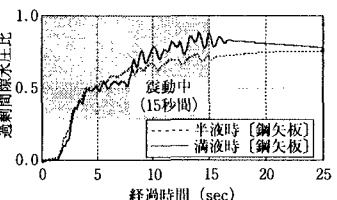


図10 過剰間隙水圧比の経時変化（鋼矢板）

5. 終わりに

本検討では、地上タンクの液状化時の沈下量は、その液位が高い程大きくなることが分かった。また、グラベルドレーン工法及び鋼矢板リング工法の場合には、無対策の場合と比較して、沈下量は半液時と満液時とで差が小さいことが分かった。

最後に、本論文の作成にあたって御助言を賜った岐阜大学の岡教授並びに八嶋助教授に謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) Oka F., et al (1992) "A constitutive model for sand based on the non-linear kinematic hardening rule and its application" Proc. of 10th WCEE, pp.2529-2534
- 2) Tateisi A., et al (1995) "A cyclic elasto-plastic model for sand and its application under various stress conditions" 1st Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, IS-TOKYO '95
- 3) Oka F., et al (1994) "FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model" Applied Scientific Research, 52, pp.209-245
- 4) 名倉牧人ら, (1997) "有効応力解析による既設地上タンク液状化対策工の検討", 地盤工学会 '97