地盤の液状化が貯油タンクの構造健全性に及ぼす影響 ~その1:動的有効応力解析による地盤変形評価~

大成建設 技術センター	正会員	〇居上	靖弘,	宇野	浩樹	非会員	船原	英樹
篠塚研究所	正会員	森山	健一					

1. はじめに 直接基礎で支持された貯油タンクにおいては、支持地盤が液状化した場合、タンク底板の変形・破損とともに内容物の漏洩や火災等の2次的被害が懸念される。本検討では、液状化がタンクの構造健全性に及ぼす影響を検討するため、その1でLIQCA2D18¹による動的有効応力解析を実施し、液状化による地盤変形とタンクの不同沈下を評価した。その2²では、その1で得られたタンク底板の変位を用いてタンク本体の静的な応力解析を実施し、タンクの構造健全性について検討した。

2. 解析条件 に対して作成した 2 次元解 析モデルおよび地盤のせん 断波速度 V_sの深度分布を図 1 に示す。液状化対象層(層 厚 13m)は, Bs1 層, Bs2 層 の2層とし,地下水位はG.L.-2m とした。非液状化層とし て,沖積粘土層(層厚 35.5m)



Bs1 層と **Bs2** 層の構成則は、岡らの繰返し弾塑性モデ ル¹⁾ とした。本検討で設定したパラメータによる要素シ ミュレーション結果を図 2 に示す。図中の Target の液状



0.500



図3 入力地震動(2E波)

化強度比 R_{L20} は,道路橋示方書に基づいて設定した。他の繰返し回数 N_c における繰返しせん断応力比 τ_d/σ'_{m0} は, Yoshimi et al.(1990)による液状化強度曲線³のモードを用いて設定した。L型躯体は,地盤剛性に比べて十分に剛な 線形弾性体でモデル化した。鋼矢板(II型)は、下端が Bs2 層にあり、非線形性については $M \sim \varphi$ 関係をバイリニア 型とした。地震時のタンク内容物が、タンク本体と一体となって振動するバルジング振動を仮定した。タンクは平 面ひずみ要素でモデル化した。タンク本体の質量は要素の密度で与え、内容物の地震時動液圧に対する等価質量は 節点質量に換算して付加した。タンクの平面ひずみ要素には、固有値解析を通じて1次固有周期がバルジング振動

キーワード 液状化, 貯油タンク, 矢板式護岸, 不同沈下, 流動変形, 有効応力解析 連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7217 の固有周期 T_b=0.2081s(自治省告示第 99 号⁴⁾等による)となるよう,せん断弾性係数を与えた。

図3に本検討で用いた入力地震動を示す。南海トラフで想定された名古屋市の地震動(最大加速度振幅 3.53m/s²) ⁵⁾とした。動的解析は、タンク基礎砕石の構成則を変更した2ケース(ケース1:修正 R-Oモデル、ケース2:岡ら の繰返し弾塑性モデル)を実施した。ケース2では、タンク基礎砕石の解析パラメータをBsl層と同じとした。

3. 解析結果 ケース2で得られた,護岸とタンクの中間に位置する Bs1 層中央深度の過剰間隙水圧比 Δu/σ', ωと護 岸の水平変位 δx の時刻歴を図4に示す。出力位置は図1 に示す通りである。時刻16秒付近で過剰間隙水圧が概ね 1.0 に達し、液状化している。これに伴い、護岸が水平方 向海側に変位している。同ケースの時刻 160 秒における タンク周辺の変形図と過剰間隙水圧比分布を図 5 に示 す。液状化は護岸直下とタンク両端直下を除いて発生し ている。液状化対象層はタンク中心を軸として概ね対称 にはらみ出す流動変形を呈しており、これに伴ってタン クが沈下している。

同時刻におけるタンク底板の水平相対変位および鉛直 変位分布を図6に示す。ここで、解析モデル下端に粘性 境界を設定したことから、タンク中心軸とモデル下端の 交点に対する相対変位を「水平相対変位」と定義した。 図 6(a)より,両ケースともにタンクは海側(一側)に変位 しており,変位量はケース 1 の方が大きくなっている。図 6(b)よ り、タンクは、ケース1では底板が概ね線形形状を保ったまま海側 に傾斜し、ケース2では底板が下に凸に変形しつつ陸側に傾斜し、 沈下している。両ケースで底板の変形形状が異なった要因として, タンク基礎砕石に用いた構成則の違いが考えられる。 すなわち, ケ ース 1 では、タンク基礎砕石で水平方向の引張応力が発生してい る(紙面の都合上,詳細なデータは割愛)ことから,タンク自体の 変形を過度に拘束したと推察される。本検討では、タンク基礎の材 料に砕石を想定したため,垂直応力が引張状態になることは現実的 ではない。ケース2では、タンク基礎砕石の構成則に用いた岡らの

繰返し弾塑性モデルは,鉛直・水平ともに垂直応力が引張状態にな らない特性を有しているため、タンク底板が下に凸に変形したと考 えられる。

4. まとめ 矢板式護岸と貯油タンクを配した地盤の液状化解析を 実施したところ、液状化によって、護岸は海側に変位し、タンクは 直下の地盤の流動変形に伴って沈下することが確認された。また,



図4 Bs1 層中央深度の過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_{v0}$ と 護岸の水平変位 δx の時刻歴(ケース 2)







図 6 時刻 160 秒のタンク底板変位分布

薄層ではあるものの、タンク基礎砕石の変形特性と応力状態がタンクの底板の変形に及ぼす影響は大きいと言える。

参考文献

1) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所: LIQCA2D18・LIQCA3D18(2018年公開版)資料, 2018. 2) 森山ら:地盤の液状 化が貯油タンクの構造健全性に及ぼす影響~その2~,土木学会第75回年次学術講演会,2020(投稿中).3) Yoshimi et al.: Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples, Soils and Foundations, Vol.29, No.1, pp.93~104, 1989. 4) 総務省消防庁: 危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示, 自治省告示第九十九号, 2013 年4月改訂, https://www.fdma.go.jp/laws/kokuji/post34/(2019年8月参照). 5) 内閣府中央防災会議: 南海トラフの巨大地震モ デル検討会(基本ケース), 2012, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html (2019 年 8 月参照).