

旧法タンクにおける注入固化工法による液状化対策

極東石油工業（株）千葉製油所 工務部

佐藤 弘隆

大成建設（株）土木設計部

正会員 ○佐藤 将路

1. はじめに

屋外貯蔵タンクの耐震基準は消防法により定められており、平成6年の「危険物の規制に関する規則」の改正により、昭和52年の法令改正以前に設置された屋外貯蔵タンク（＝旧法タンク）については、一定期間内に改修しなければならない。その支持地盤については、液状化に関する安全性を評価し、必要な場合には液状化対策を実施する必要がある。液状化対策工法としては、以下の4つの工法が消防庁の通知（消防危第73号〔H6.9.1〕、99号〔H7.9.12〕）に示されている。

- ①注入固化工法
- ②鋼矢板によるせん断変形抑制工法
- ③グラベルドレーン工法およびパイプドレーン工法
- ④地下水位低下工

これらの工法の中でも注入固化工法は、施工機械が比較的小さく、さらにタンクの周辺に配管等が存在しても施工が可能であることから、今後この工法が採用される頻度が多くなると思われる。

本稿では、1,100 kl 旧法タンクの注入固化工法による液状化対策の設計概要をまとめた。

2. 注入固化工法の採用

今回の対象タンクは図-4に示すように、周辺に防油堤が隣接し、複数の配管類があるため、②～④の工法では施工が困難なことから注入固化工法を採用した。

3. 設計

対象タンクは許可容量 1,100 kl、タンク径 11.62 m、基礎形式が直接基礎の旧法タンクである。

1) 準拠基準等

準拠基準等は、「旧法タンクの液状化対策工法に関する自主研究報告書」（危険物保安技術協会）および「浸透固化処理工法 技術マニュアル」（財団法人 沿岸開発技術研究センター）とした。

2) 設計フロー

手順を設計フローを図-1に示す。

3) 地盤の概要・液状化判定

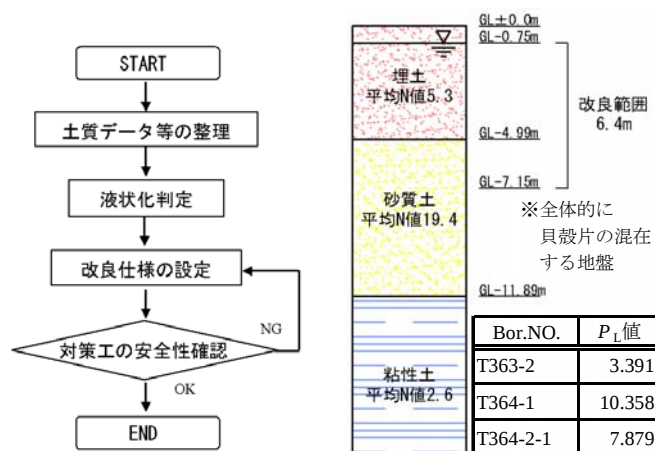


図-1 設計フロー図

図-2 土層図と P_L 値

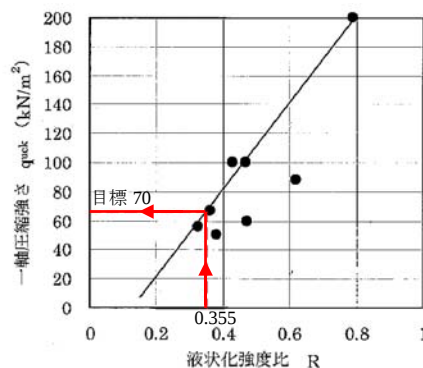
タンクの周囲3ヶ所のボーリング調査による土層図と、当該地盤の設計水平震度 $k_h = 0.2$ を用いて各地点で液状化判定を行った結果を図-2に示す。この結果2ヶ所の P_L 値が5以上となり、液状化の可能性が高いことが判明した。

4) 改良仕様の設定

a. 設計基準強度

改良後地盤が液状化しないような設計基準強度 q_{uck} を設定する。液状化判定における液状化安全率 F_L 値を全て1.0以上とするために必要な、最大の液状化強度比 R は0.355となり、図-3に示す一軸圧縮強さと液状化強度比の関係から、 $q_{uck} = 70 \text{ kN/m}^2$ と設定した。

また配合目標強度 q_{ul} は設計基準強度 q_{uck} の2倍の値とし、 $q_{ul} = 2 \times q_{uck} = 140 \text{ kN/m}^2$ と設定した。

図-3 一軸圧縮強さと液状化強度比の関係
（「浸透固化処理工法技術マニュアル」より）

キーワード 液状化対策、浸透固化、注入固化、旧法タンク、特定屋外タンク、直接基礎

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 （新宿センタービル） TEL 03-5381-5418

b. 配合設計

配合設計は、薬液濃度と改良土の強度の関係を求め、薬液の仕様を決定することを目的とする。

配合試験に用いる試料を原位置から採取し、シリカ濃度を 4%, 6%, 8% とした 3 種類の供試体を作製した。また、薬液は溶液型活性シリカグラウトを使用した。

これらの 1 週, 2 週, 4 週強度を測定した結果から、配合目標強度を確保するためのシリカ濃度を、6% と決定した (4% でも配合目標強度を確保していたが、施工や地質のバラツキを考慮し、安全側の値となるように、一段階上げた仕様とした)。また、固化剤が注入途中で固化せず均質な改良を行うための目標ゲルタイムを施工を考慮して 260 分とし、反応材の添加量を決定した。

c. 改良範囲・改良率・注入配置

鉛直方向の改良範囲については P_L 値が 5 以下を満足するように地下水位 (GL-0.75 m) から 6.4 m までの範囲とした (GL-7.15 m 以深の薄い液状化層は未改良)。また、水平方向の範囲はタンク側板から 3.0 m までの範囲、つまり直径 17.62 m の円形の範囲とした。改良率はタンク外周部を 90%, その内部を 70% とした。

改良体はおおよそ球状を呈しており、1 個あたりを直径 2.6 m の球体と設定し、上記の改良率に応じて計 147 個を図-4 に示すように配置した。

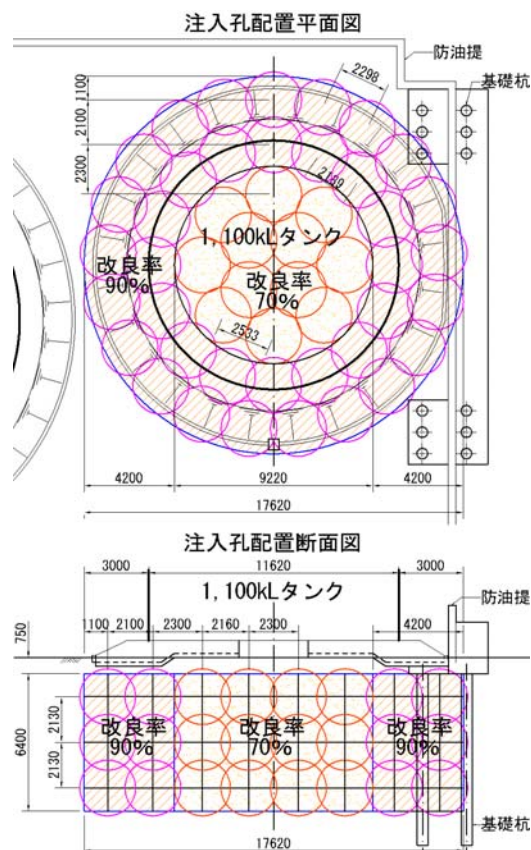


図-4 対象タンクおよび注入固化配置図

5) 対策工の安全性確認

a. 残留変形の検討

図-5 に示すように、改良範囲以深に $F_L < 1.0$ の薄い層が残る、この層が液状化することによるタンク地盤の残留沈下が懸念されることから、残留変形解析を行った。液状化土のせん断剛性を設定し、軸対称静的 FEM 解析を行った結果、タンク中心部と端部の相対沈下量が 1.6mm と小さく、底板勾配も約 1/3500 で消防法規則にある 1/100 の規準値を満足する値となった。

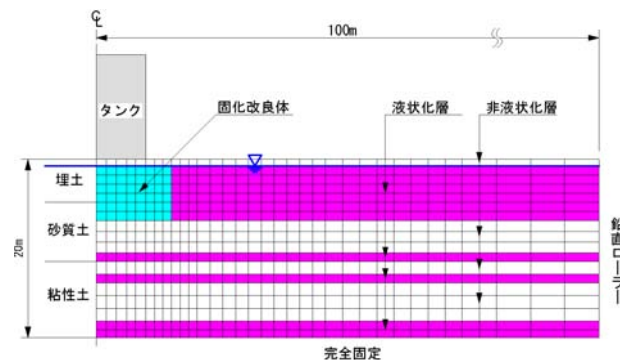


図-5 FEM 解析モデル図

b. すべりの検討

地震時のタンク基礎地盤の安定を確認するために、局部すべり ($F_s = 1.83$)・全体すべり ($F_s = 2.31$) を検討し、各々の目標安全率 1.1 および 1.0 以上を確認した。

4. 改良効果確認

改良効果確認とは、改良体が所定の品質を満足しているかを確認することであり、一軸圧縮強さで評価することを基本としている。施工後、不攪乱試料 (3ヶ所) を採取し、改良体の上部・中部・下部にて各々 3 個 (計 27 個) の供試体を作製し、試験を行う予定である。

5. おわりに

注入固化工法は施工完了後の再注入ができないため、1 回の注入で確実に改良する必要がある。地質のバラツキ等から、室内配合試験と現位置試験 (改良効果確認) では強度の差が大きいため、シリカ濃度の設定が重要となる。今後は、室内配合試験と現位置試験結果を比較検討する予定である。

参考文献

1) 「浸透固化処理工法 技術マニュアル」平成 15 年 3 月 (財団法人 沿岸開発技術研究センター), 2) 「旧法タンクの液状化対策工法に関する自主研究報告書」平成 12 年 3 月 (危険物保安技術協会), 3) 危険物保安技術協会刊行物「Safty&Tomorrow 2004.7」注入固化工法による既設タンク 液状化対策工事の施工について