

注入固化工法による既設石油タンクの液状化対策改良に関する遠心振動模型実験

西松建設技術研究所 正会員 今村眞一郎
西松建設土木設計部 正会員 平野孝行

西松建設技術研究所 正会員 佐藤靖彦
西松建設技術研究所 正会員 萩原敏行
東京工業大学工学部 正会員 竹村次朗

1. はじめに

筆者らは、薬液注入固化工法を用いた既設石油タンクの液状化対策に関する実験的・解析的研究を行っている^{1), 2)}。本報では、筆者らが開発した大型せん断土槽³⁾を用いて、より現実に近い条件での改良効果を実験的に検証するため、3次元モデルによる遠心振動模型実験を行い、改良範囲、改良強度の違いによる沈下抑制効果について、2次元モデルの結果も併せて比較・検討したので以下に報告する。

2. 実験概要

図-1に、加速度計、間隙水圧計および変位計の設置位置を含む実験システムの全体概要を示す。実験には、新しく開発したせん断土槽(幅 650×奥行 400×深さ 500mm)³⁾を使用し、試料には珪砂 8 号を用いて、相対密度が 50%となるように空中落下法により模型砂地盤を作成の上、サーチャージとしてジルコン砂を敷いた後、地表面まで十分飽和させた。なお、詳細な飽和地盤作成については別報^{1), 2)}を参照されたい。

タンクのモデル化は、タンク荷重のモデル化に留め、タンク材をアルミ製(肉厚 1mm)の2次元(幅 140mm)、3次元構造(φ 140mm)とした。また、タンク荷重を直接基礎へ伝達できるように、タンク底部をゴム膜とし、その荷重が遠心力場 50g で 100kPa となるようにタンク内部に鉛散弾を敷いた。改良地盤は、別容器に珪砂 8 号地盤を作成し、超微粒子シリカ系のエコシリカを注入して固化したものを2・3次元形状にトリミングし、地盤作成時にタンク中央直下に設置した。実験は、改良範囲、強度を変化させた表-1に示す12ケースを実施した(図-1参照)。入力地震波は、図-2に示す卓越周波数 100Hz の正弦波(水平加速度 13g: 実物換算にて 250gal)を20波、加振時間 0.2秒である。なお、全ての実験は、遠心加速度 50g で実施し、実物換算するとタンク径 7m、地盤深さ 10m に相当する。

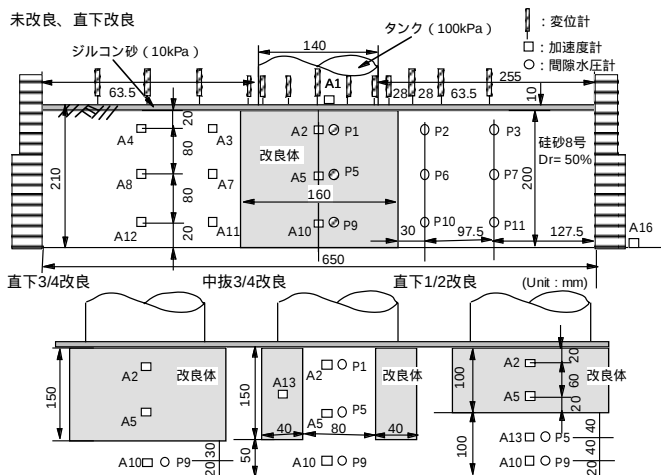


図-1 実験システム全体概要図

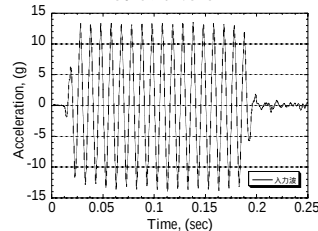


図-2 入力波形

3. 実験結果および考察

間隙水圧挙動から判断すると全てのケースにおいて、タンク、改良体直下および改良体内の未改良部では、加振中、液状化には至っておらず、一方、タンク周辺地盤では少なくとも深さ 100mm (5m) まで液状化が起こった。なお、応答加速度、間隙水圧等の挙動については、別報²⁾を参照されたい。

1) タンク基礎沈下分布の比較

図-3(a)に3次元モデル(表-1, IA シリーズ)、(b)には2次元モデル(表-1, IB シリーズ)で実施した実験($q_u=120\sim 140\text{kPa}$ のケース)で得られた、加振終了時のタンク直下基礎の沈下分布形状を示す。

3次元モデルでの未改良地盤での最大沈下量は約 7mm と大きな値に対し、直下改良では約 2mm (30%) と大幅に沈下が抑えられている。未改良部を残した 3/4 改良でも、タンク直下改良と同程度の沈下量を示し、中抜き 3/4 改良で約 4mm (60%)、1/2 改良で約 5mm (70%)

に各々抑えられている。中抜き 3/4 改良では、改良体直下に未改良部を残しているのにも関わらず、改良体上の沈下量は直下改良、3/4 改良とほぼ同じ値を示し十分な改良効果が認められた。ただし、中抜き部分では改良体上とタンク中心部との間に不等沈下が生じた。一方、2次元モデルでも、3次元同様に明瞭な改良効果が認められ、沈下量もほぼ同じ値を示した。図-4は、未改良地盤での最大沈下 ($S_{\max}(\text{NO})$) に対する

表-1 実験ケース

実験 Code	改良 範囲	改良深さ H' (mm)	深さ改良比 (H'/H)	Dr (%)	一軸強度 q_u (kPa)
IA1	未改良	-	0	52.3	-
IA2 IA3	直下	200	1	43.4 52.0	120 75
IA4 IA5	直下3/4	150	0.75	51.9 52.7	121 121
IA6	中抜き3/4	150	0.75	52.3	142
IA7 IA8	直下1/2	100	0.5	52.5 52.6	142 223
IB1	未改良	-	0	48.9	-
IB2	直下	200	1	50.9	120
IB3	直下3/4	150	0.75	50.9	121
IB4	直下1/2	100	0.5	51.5	142

(IA: 3次元、IB: 2次元)

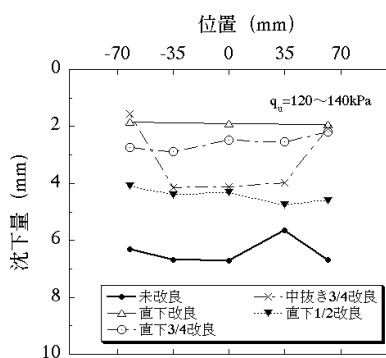


図-3 (a) 沈下分布形状 (3D モデル)

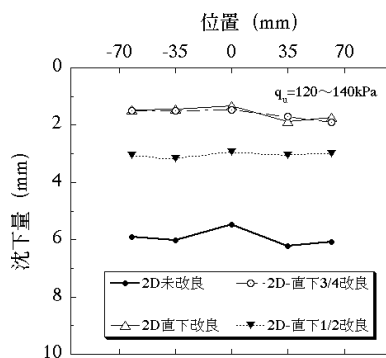


図-3 (b) 沈下分布形状 (2D モデル)

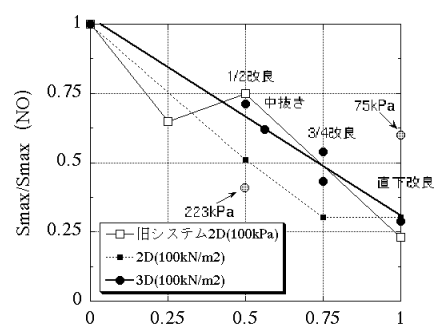


図-4 改良率による改良効果

改良地盤の最大沈下量比($S_{max}/S_{max}(NO)$)と直下改良に対する改良体積率の関係として示したものである。改良率を大きくするほど、沈下量比はほぼ直線的に減少し、改良効果が認められる。また、過去に実施した旧システム¹⁾と今回行った2次元モデルによる結果も、3次元同様に改良効果が得られていることから、簡易な2次元の実験でも3次元改良効果の確認が可能であることが示唆された。

さらに図-4には、直下改良で強度を約0.6倍、1/2改良で強度を約1.6倍に行った実験結果も併せて図示してあるが、改良率が同一でも、改良強度が大きいと沈下量比は減少しており、最大沈下量は、改良体強度にも依存することが判る。

改良率と最大沈下量をタンク径 D で正規化した最大沈下量比 (S_{max}/D) との関係を図-5 に、また図-6 には、改良率と最大不等沈下量比 ($\delta S_{max}/D$) の関係を示した。改良深さの増大に伴い、最大沈下量比、最大不等沈下量比はともに、ほぼ直線的に減少し、改良効果が発現されている。特に図-6 から、3次元モデルでは、2次元モデルに比べて、改良範囲の違いによる不等沈下に対する改良効果の差がより顕著となることが判る。

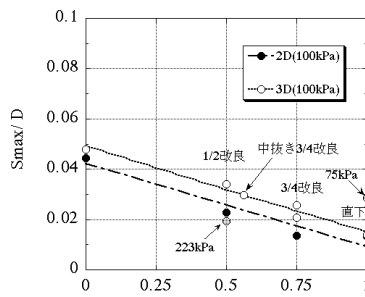


図-5 改良率と S_{max}/D の関係

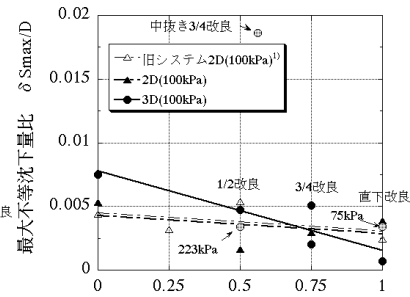


図-6 改良率と $\delta S_{max}/D$ の関係

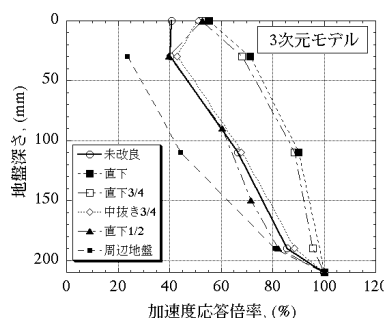


図-7 (a) 加速度応答率 (3D)

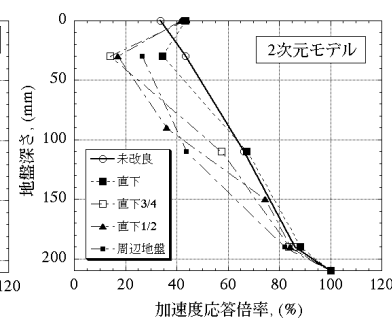


図-7 (b) 加速度応答率 (2D)

2) 加速度応答分布

図-7 に、周辺地盤 (代表1ケース) を含むタンク直下における加速度応答分布を示す。なお、入力波が目標最大加速度に達した時の各深さでの応答をその最大加速度で除したものを加速度応答倍率と定義した。図-7 (a) の3次元モデルにおいて、直下改良、3/4改良のケースでは70~95%とほぼ同じ高い応答分布を示したのに対し、中抜き、1/2改良では40~90%と直下改良、3/4改良を下回る応答分布を示し、未改良の応答分布とほぼ一致しているのが判る。一方、2次元モデルでは、3次元モデルのように改良範囲の違いによる加速度応答分布の明確な相違が認められなかった。

4. おわりに

- 1) タンク基礎直下を注入固化改良することにより、タンクの最大沈下量は、直下改良では未改良に比べて30%まで著しく低減し、注入固化工法は、沈下抑制について優れた液状化対策効果のあることが確認された。
- 2) 直下3/4改良のように部分的に未改良部を残しても、直下改良とほぼ同等な沈下抑制効果が確認され、タンク直下の深さ方向の改良範囲、改良強度の度合いによる効果の違いについても確認することができた。

今後は、2次元動的解析を進めるとともに、中抜きやフローティングタイプに焦点を当てた、より経済的な改良範囲について、さらに実験的な検討を進めていく予定である。

【謝 辞】本研究を実施するにあたり、貴重な御助言ならびに御指導を頂いた中央大学理工学部 藤井齊昭教授、東京工業大学工学部 高橋章浩助手に対し心から謝意を表します。

【参考文献】1) 溝口ら：砂地盤上の既設タンクの液状化対策としての薬液注入固化工法の効果，土木学会第54回年次学術講演会発表講演集，pp.286-287，1999。2) 今村ら：薬液注入固化工法による既設タンクの液状化対策に関する3次元遠心模型実験，第35回地盤工学研究発表会，2000(投稿中)。3) 今村ら：せん断土槽の違いが応答特性に及ぼす影響，第35回地盤工学研究発表会，2000(投稿中)。