

# 薬液注入固化されたタンク基礎砂地盤の地震時挙動に関する2次元有効応力液状化解析

蔡飛<sup>1</sup>・高橋千明<sup>2</sup>・渡邊泰介<sup>3</sup>・萩原敏行<sup>4</sup>・鵜飼恵三<sup>5</sup>

<sup>1</sup>群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻助教 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

E-mail: cai@ce.gunma-u.ac.jp

<sup>2</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社地盤技術部 (〒163-0730新宿区西新宿2-7-1新宿第一生命ビル6階)

E-mail: chiaki.takahashi@tk.pacific.co.jp

<sup>3</sup>群馬大学大学院工学研究科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

E-mail: taisuke@geotech.ce.gunam-u.ac.jp

<sup>4</sup>西松建設株式会社技術研究所 (〒243-0303神奈川県愛甲郡愛川町中津4054)

E-mail: toshiyuki\_hagiwara@nishimatsu.co.jp

<sup>5</sup>群馬大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学専攻教授 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)

E-mail: ugai@ce.gunma-u.ac.jp

既設タンク地盤の液状化対策として、浸透性のよい薬液(特殊シリカ系水ガラス)を用いた注入固化工法の実用化に向けた研究が進められている。本研究では、薬液注入固化工法の効果を解明するために、有効応力液状化解析を行った。解析結果と動的遠心実験の結果(加速度、間隙水圧、表面沈下量)はほぼ一致することが明らかになった。また、解析結果より薬液注入固化工法の地震時の地盤沈下を低減できるメカニズムを解明した。すなわち、注入固化体自体の地震時の沈下が小さいため、タンク直下の薬液注入固化の深度が大きいほど、薬液注入固化された地盤の地震時の沈下量が小さくなる。

**Key Words** :liquefaction,numerical analysis, tank, liquefaction mitigation, grouting

## 1. はじめに

平成7年の改正消防法の実施に伴い、昭和52年以前に許可を受けた、または許可申請された危険物屋外貯蔵タンクの液状化に対して早急な安全対策が義務付けられるようになった。消防庁達達による地盤の液状化対策として、鋼矢板によるせん断変形抑制工法、過剰間隙水圧消散工法、地下水水位低下工法、注入固化工法が示されている。これら4工法のうち注入固化工法は、他工法と比べて施工機械が小さく、軽量であることから、密集地帯の限られたスペースで、また配管等の錯綜する実際の既設タンク基地での施工性に優れた工法である。既設タンク地盤の液状化対策工法として、浸透性のよい薬液(特殊シリカ系水ガラス)を注入材として用いた注入固化工法の実用化に向けて研究が進められている<sup>1-4)</sup>。

本研究では、薬液注入固化されたタンク基礎砂地盤の地震時の挙動を2次元有効応力液状化解析によりシミュレートした。解析結果を既に実施された動的遠心実験の結果と比較・考察し、解析の有効性を検討した上で、薬

液注入固化工法の改良効果を解明し、改良メカニズムを考察した。

## 2. 動的遠心振動模型実験

図-1に各種センサー(加速度、間隙水圧、変位センサー)の設置位置を含む実験システムの全体概要図を示す。実験には大型せん断土槽(幅650mm、奥行400mm、深さ500mm)を使用し、試料には8号珪砂を用い、相対密度が50%となるように空中落下法により砂地盤を作成の上、サーチャージとしてジルコンを敷いた後、土槽底部から間隙流体である水を浸透させて、模型地盤の地表面まで十分飽和させた。タンクのモデル化はタンク荷重のみにとどめ、アルミ製肉厚1mm、幅140mmの箱として、2次元的にシミュレートした。また、タンク荷重を直接基礎へ伝達できるようにタンク内部をゴム膜とし、その荷重が遠心力場50Gで10kPaの荷重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8号珪砂地盤を作成し、超微粒子シリカ系の活性シリカを注入して固化し

たものを二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、タンク下の改良範囲を変化させた表-1に示す3ケースを実施した。入力地震波は、卓越周波数100Hz（実物換算にて2Hz）、水平加速度13G（実物換算にて260gal）の正弦波20波、加振時間0.2秒（実物換算にて10秒）である。

実験には西松建設（株）技術研究所所有の遠心振動載荷実験装置（有効半径3.8m、最大遠心力150G）を使用し、遠心加速度50Gで実施した。したがって実物換算すると地盤幅32.5m、地盤厚さ10.0mに相当する<sup>6)</sup>。

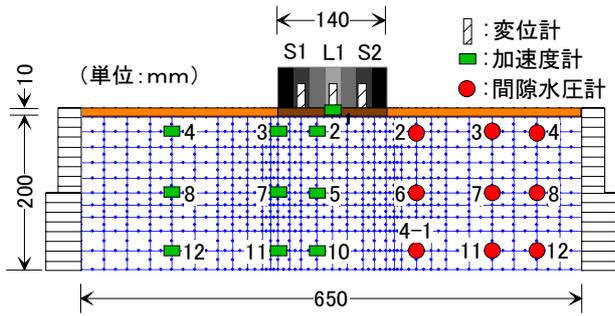


図-1 実験システム概要図

表-1 実験ケース

ケース	改良範囲	改良深さ H' (mm)	深さ改良比 H'/H
①	未改良	0	0.00
②	直下全改良	200	1.00
③	直下3/4	150	0.75
④	直下1/2	100	0.50

### 3. 2次元有効応力液状化解析プログラムの概要

本研究で用いた2次元有効応力液状化プログラムUWLC<sup>8)</sup>は、次の3パーツから構成されている。①要素試験のシミュレーションにより材料の構成式パラメータを決めるプログラム、②加振前の初期応力を解析するプログラム、③液状化解析プログラム。

液状化解析プログラムには、動的支配方程式の $u$ - $p$ 定式化を用いている。ビオの理論より、全体系の動的支配方程式が下式で表される。

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} - \mathbf{Q}\mathbf{p} = \mathbf{f}^u \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{M}$ は質量マトリックス、 $\mathbf{C}$ は減衰マトリックス、 $\mathbf{K}$ は剛性マトリックス、 $\mathbf{Q}$ は連成マトリックス、 $\mathbf{u}$ は変位ベクトル、 $\mathbf{f}^u$ は全体系における外力ベクトル、 $\mathbf{p}$ は過剰間隙水圧ベクトルである。

間隙水圧に関する動的支配方程式が下式で表される。

$$\mathbf{Q}^T \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{H}\mathbf{p} + \mathbf{S}\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{f}^p \quad (2)$$

式(2)で、 $\mathbf{H}$ は浸透マトリックス、 $\mathbf{S}$ は圧縮マトリックス、 $\mathbf{f}^p$ は間隙水における外力ベクトルである。

動的支配方程式の時刻歴数値積分はニューマーク法を用いて行う。ステップ $n$ での加速度、速度、変位、過剰間隙水圧の変化、過剰間隙水圧を用いて、ステップ $n+1$ での加速度、速度、変位、過剰間隙水圧の変化、過剰間隙水圧がそれぞれ以下の式で表される。

$$\ddot{\mathbf{u}}_{n+1} = \ddot{\mathbf{u}}_n + \Delta\ddot{\mathbf{u}}_n \quad (3)$$

$$\dot{\mathbf{u}}_{n+1} = \dot{\mathbf{u}}_n + \ddot{\mathbf{u}}_n \Delta t + \theta_1 \Delta\ddot{\mathbf{u}}_n \Delta t \quad (4)$$

$$\mathbf{u}_{n+1} = \mathbf{u}_n + \dot{\mathbf{u}}_n \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{\mathbf{u}}_n \Delta t^2 + \frac{\theta_2}{2} \Delta\ddot{\mathbf{u}}_n \Delta t^2 \quad (5)$$

$$\dot{\mathbf{p}}_{n+1} = \dot{\mathbf{p}}_n + \Delta\dot{\mathbf{p}}_n \quad (6)$$

$$\mathbf{p}_{n+1} = \mathbf{p}_n + \dot{\mathbf{p}}_n \Delta t + \theta \Delta\dot{\mathbf{p}}_n \Delta t \quad (7)$$

ここで、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta$ は積分係数であり、数値積分を無条件安定のために、 $\theta_2 = \theta_1 = 0.5$ と $\theta = 0.5$ を用いた。式(3)~(7)を式(1)、式(2)に代入すれば、式(8)が得られる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} + \theta_1 \Delta t \mathbf{C} + \frac{\theta_2}{2} \Delta t^2 \mathbf{K} & -\theta \Delta t \mathbf{Q} \\ -\theta \Delta t \mathbf{Q}^T & -\frac{\theta}{\theta_1} (\theta \Delta t \mathbf{H} - \mathbf{S}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\ddot{\mathbf{u}}_n \\ \Delta\dot{\mathbf{p}}_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Psi_{n+1}^u \\ \Psi_{n+1}^p \end{Bmatrix} \quad (8)$$

ここで、残差ベクトル $\Psi_{n+1}^u$ と $\Psi_{n+1}^p$ は次の式で計算する。

$$\Psi_{n+1}^u = \mathbf{f}_{n+1}^u - \mathbf{M}_{n+1} \ddot{\mathbf{u}}_{n+1} - \mathbf{C}_{n+1} \dot{\mathbf{u}}_{n+1} - \int_{\Omega} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\sigma}' d\Omega + \mathbf{Q}_{n+1} \mathbf{p}_{n+1} \quad (9)$$

$$\Psi_{n+1}^p = -\frac{\theta}{\theta_1} (\mathbf{f}_{n+1}^p - \mathbf{Q}_{n+1} \dot{\mathbf{u}}_{n+1} - \mathbf{H}_{n+1} \mathbf{p}_{n+1} + \mathbf{S}_{n+1} \mathbf{p}_{n+1}) \quad (10)$$

非線形方程式(8)を解くとき、初期剛性法を用いた<sup>1)</sup>。また、履歴減衰のほか、減衰定数を0.02としたレイリー減衰を導入した。時間増分 $\Delta t$ は0.001秒を用いた。

### 4. 構成則モデル

地震時の土の応力-ひずみ関係は非常に複雑なものである。数値解析に用いた構成式が土の地震時の主な特徴（残留変位、ダイレイタンス、ヒステリシス等）をモデル出来ねばならない。本研究では、Zienkiewiczの研究グループが開発した一般化塑性モデル(PZ-Sand)を砂地盤に、HDモデルを薬液注入固化された地盤に適用した。動的遠心実験では、薬液注入固化された領域では過剰間

隙水圧がやや発生するが、HDモデルでは過剰間隙水圧を考慮していないため、予備解析よりHDモデルのせん断剛性係数 $G_0$ を逆算した。砂地盤は8号硅砂より構成され、8号硅砂の物理的特性を表-2に示す。相対密度50%であるときの8号硅砂のPZ-Sandモデルのパラメータは静的及び動的三軸実験結果より同定し、同定したパラメータを表-3に示す。また、薬液注入固化体におけるHDモデルのパラメータを表-4に示す。

表-2 8号硅砂の物性値

パラメータ	値
土粒子の比重, $G_s$	2.65
最大間隙比, $e_{max}$	1.333
最小間隙比, $e_{min}$	0.703
均等係数, $U_c$	2.927
曲率係数, $U'_c$	0.968
$D_{50}$ (mm)	0.100
$D_{10}$ (mm)	0.041
透水係数, $k$ ( $10^{-5}$ m/s)	2.20

表-3 8号硅砂( $D_r=50\%$ )のPZ-Sandのパラメータ<sup>1)</sup>

番号	パラメータ	符号	値
1	体積弾性係数	$K_{cs0}$	450
2	せん断弾性係数	$G_{cs0}$	400
3	体積弾性指数	$m_v$	0.7
4	せん断弾性指数	$m_s$	0.5
5	塑性ひずみに関するCSL勾配	$M_g$	1.37
6	直交ベクトルに関するCSL勾配	$M_f$	0.72
7	応力比によりダイレイタンスシーを決めるパラメータ	$\alpha_g$	0.45
8	応力比により直交ベクトルを決めるパラメータ	$\alpha_f$	0.45
9	せん断硬化パラメータ1	$\beta_0$	4.20
10	せん断硬化パラメータ2	$\beta_1$	0.10
11	載荷時の塑性係数	$H_0$	700
12	除荷時の塑性係数(kPa)	$H_{t0}$	6000
13	再載荷時の塑性変形に関するパラメータ	$\gamma$	8.0
14	除荷時の塑性変形に関するパラメータ	$\gamma_u$	6.0
15	過圧密比	OCR	1.0

表-4 薬液注入固化体のHDモデルのパラメータ

番号	パラメータ	符号	値
1	初期せん断剛性係数	$G_0$ (kPa)	4900
2	初期平均有効拘束圧	$\sigma'_m$ (kPa)	40
3	ポアソン比	$\nu$ (-)	0.33
4	粘直力	$c$ (kPa)	28.62
5	せん断抵抗角	$\phi$ (°)	39.0
6	せん断強度を調整するパラメータ	$R_f$ (-)	1.0

解析は動的遠心模型実験を実物に換算した上で行った。メッシュ図は、図-1に示すような2次元メッシュ（節点数1073、要素数330）を用いた。境界条件は、底面節点を固定とし、側面節点についてはせん断土槽の動きを考慮し、左右側面節点の水平方向変位が等しくなるようにMPC境界とした。また、タンク範囲内に位置する表面材料（厚さが0.5m）の単位体積重量をタンク荷重と等しくなるように調整した。このタンク換算部分に関しても、実験ではアルミ箱のタンク模型を使用したことから、表層上タンク端でのポイント2点をMPC境界とした。地下水水面は地表面とし、排水条件は地表面のみ排水とした。解析では、動的遠心実験で観測された波を実物に換算し、図-2に示されている入力地震波を用いた。

本研究では、薬液注入固化された地盤の実験値と解析値の比較を行うため、改良領域も実験で行ったケースと同様にモデル化を行った。図-3で示したうち改良された3ケースで実験と解析の比較を行い、無改良を含めた全4ケースで改良効果の解明を行った。なお、無改良ケースにおいては、解析結果が実験値とほぼ一致することが既に報告された<sup>1)</sup>。

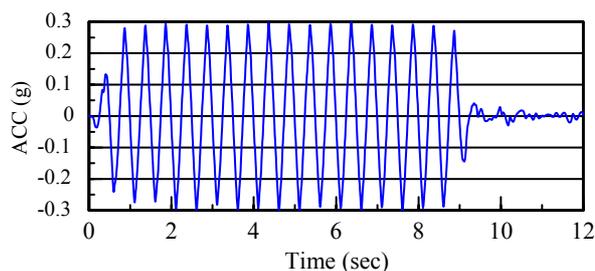


図-2 入力地震波

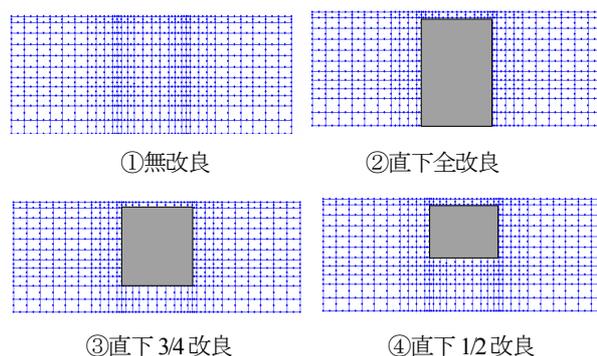


図-3 解析ケース

#### 4. 液状化解析結果と遠心試験結果の比較

本研究では、タンク直下全改良、タンク直下3/4改良及びタンク直下1/2改良したものにおいて比較（加速度、

間隙水圧、タンク下表面沈下量)を行った。比較の結果より、3ケースとも同様な傾向が示されることがわかった。したがって、3ケース中特に複雑であるタンク直下1/2改良したケースの解析結果と実験値との比較結果を以下に示す。なお、結果比較のグラフにおいて、赤線が原型サイズで表示している実験値、青線が解析結果である。

タンク直下に設置された加速度計ACC2, ACC5, ACC10の解析結果と実験値を図-4に、タンク外側の下に設置された加速度計ACC3, ACC7, ACC11の解析結果と実験値を図-5に、タンクと離れた砂地盤中に設置された加速度計ACC4, ACC8, ACC12の解析結果と実験値を図-6に示す。これらのうち、最も深い位置にあるACC10, 11, 12を見れば、ACC12では実験値が加振後6~10秒で解析値を上回るものの、ACC10及びACC11では解析と実験の波形がよく一致すること、タンクより離れていくと、多少解析結果と実験値とのズレが生じること、深度が浅くなるにつれて、解析の加速度が実験の加速度より大きくなるということがわかった。深度が増すにつれて、解析の加速度が実験の加速度とよく一致するという点に関しては、Zienkiewiczら<sup>5)</sup>の解析事例でも示されている。

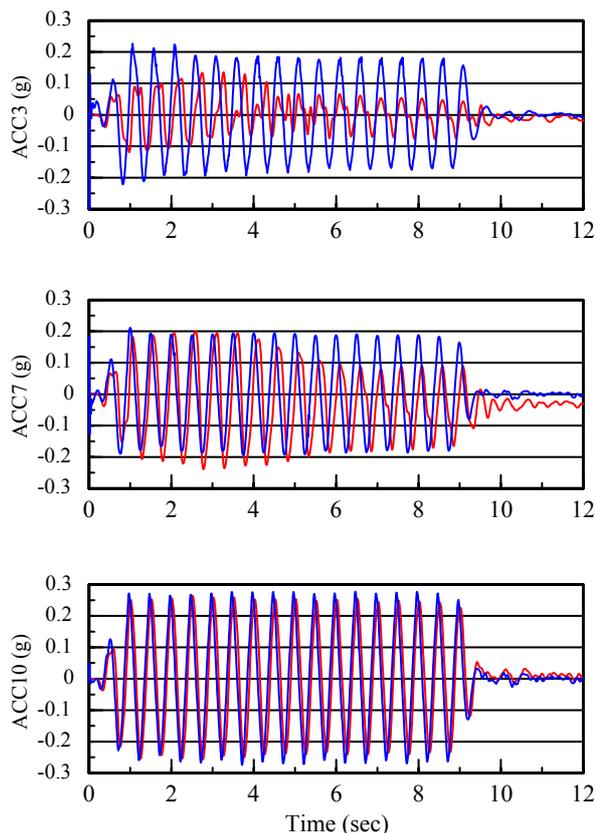


図-5 加速度応答時刻歴 (ACC3,ACC7,ACC11)

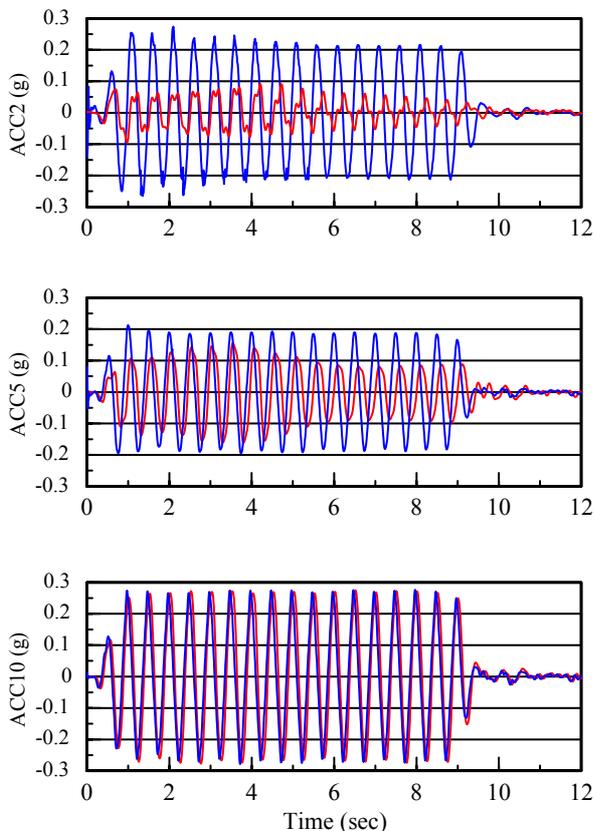


図-4 加速度応答時刻歴 (ACC2,ACC5,ACC10)  
(赤線：実験，青線：解析)

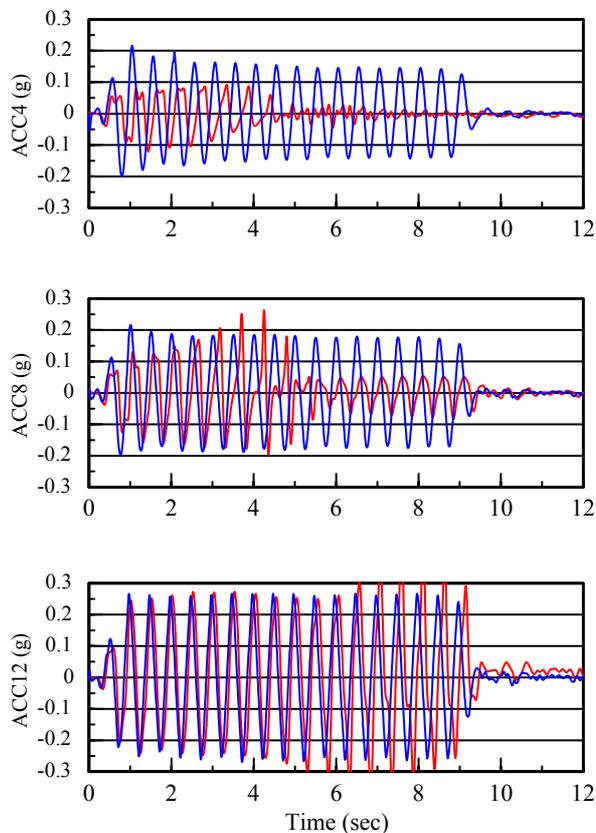


図-6 加速度応答時刻歴 (ACC4,ACC8,ACC12)

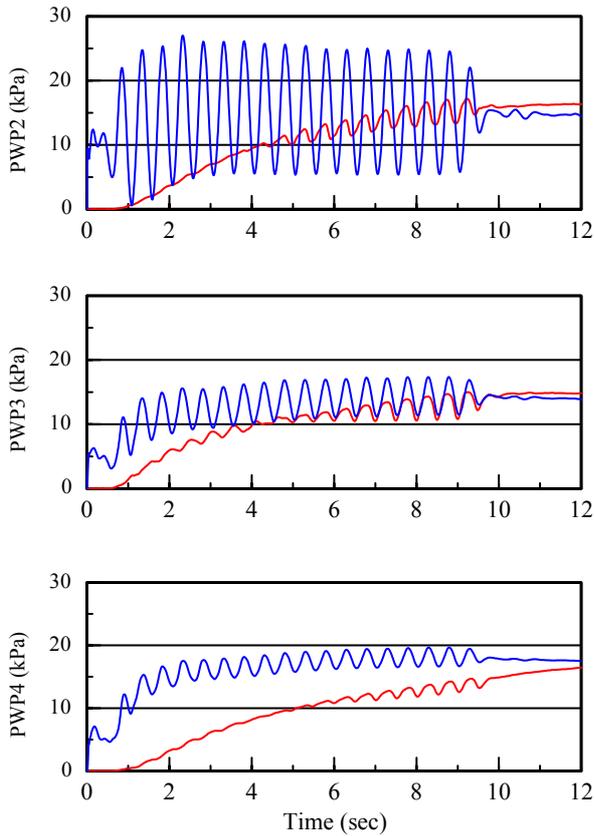


図-7 過剰間隙水圧時刻歴 (PWP2,PWP3,PWP4)

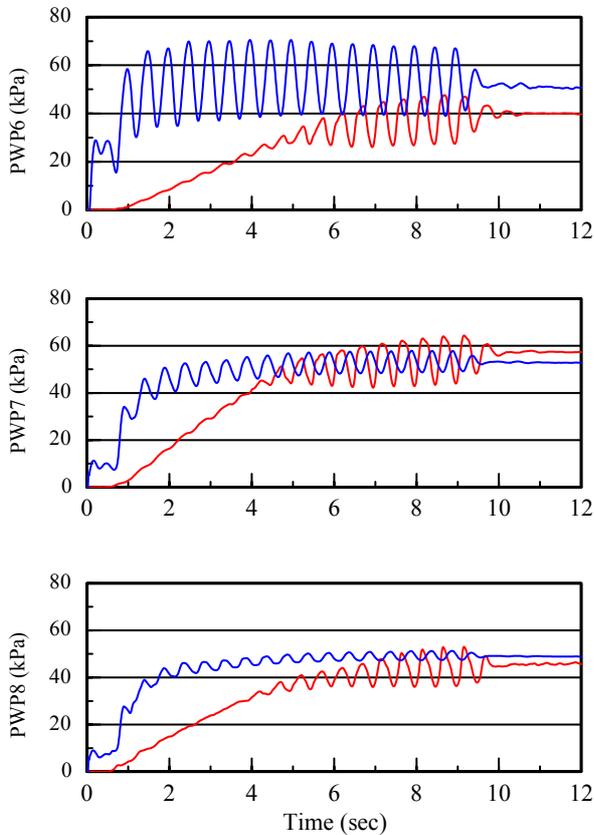


図-8 過剰間隙水圧時刻歴 (PWP6,PWP7,PWP8)

次に、最も浅く設置されている間隙水圧計PWP2, 3, 4の間隙水圧の解析結果と実験値の比較を図-7に、中間深さで設置されている間隙水圧計PWP6, 7, 8の解析結果と実験値の比較を図-8に、最も深く設置されている間隙水圧計PWP4-1, 11, 12の解析結果と実験値の比較を図-9に示す。タンク端に最も近いPWP2, 6, 4-1では、加振直後から加振4秒後まで解析結果が実験値を上回り、振幅も大きくなったが、加振後6秒から最後まで良好にシミュレートしている。タンク端から離れていくと、解析結果の振幅は小さくなっていくことがわかった。また、タンク端から離れていくと、解析結果と実験値は似通った傾向となっていくことがわかった。加振直後から加振後4秒において、解析結果が実験値を上回る傾向であるが、全体的に解析結果は実験値を良好にシミュレートしている。

タンク下表層の沈下時刻歴における解析結果と実験値の比較を図-10に示す。最終的な沈下量は、解析結果が実験値に比べてやや大きいものの、全体の沈下傾向、特に主振動が終わるまでの沈下傾向は解析結果と実験値がよく一致するといえる。

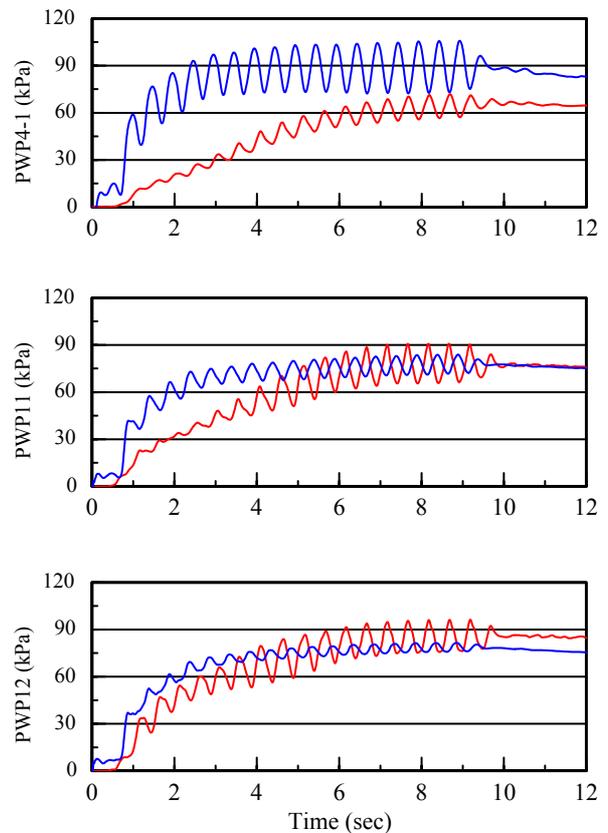


図-9 過剰間隙水圧時刻歴 (PWP4-1,PWP11,PWP12)  
(赤線：実験，青線：解析)

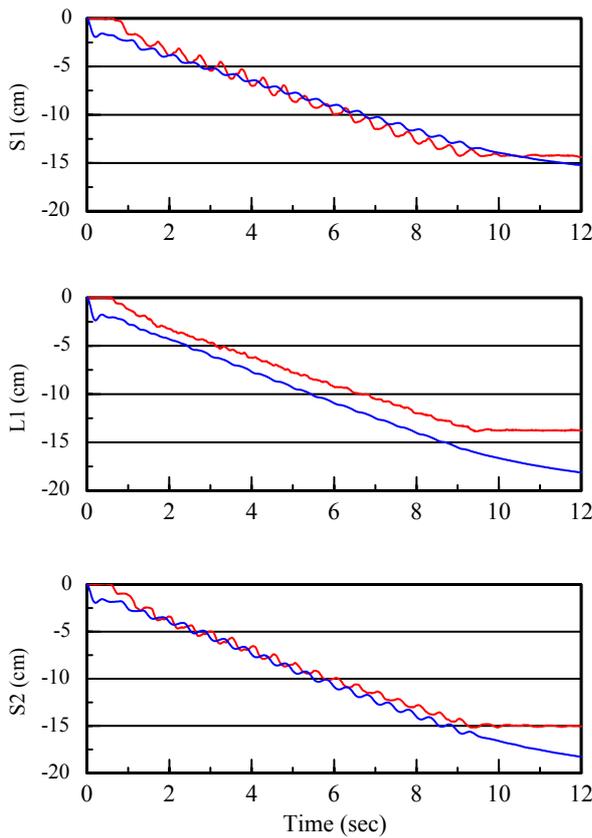


図-10 沈下時刻歴 (SI, LI, S2) (赤線：実験, 青線：解析)

最後に、全てのケースにおける実験と解析のタンク沈下量を比較した。図-11にタンク下の沈下分布形状を示す。タンク直下3/4改良したケースは、実験値がタンク直下1/2改良したケースとほぼ同じであるため、解析結果が実験値の約1.8倍大きくなっている。それ以外では、実験値と近い値が得られていることがわかった。また、解析結果は中央部分が実験値に比べて、大きな値になってしまう傾向も見られた。タンク端については、まずまずの結果が得られているといえよう。

## 5. 注入固化工法の改良効果

上記の比較結果を踏まえて、ここでは、解析結果の各沈下量及び過剰間隙水圧比から、薬液注入固化工法のメカニズムの解明を試みた。

まず、特に重要であるタンク下の沈下について述べる。ここでは、不等沈下について考える。図-11にタンク下の沈下分布形状を示す。タンクにおける不等沈下の許容値は、消防法では1千kl以上の液体危険物タンクを設置する場合において、タンク荷重に対する地盤の支持力などを勘案し、設計段階における地盤の計算不等沈下量

の許容値を、直径が15m未満の場合5cm以上の不等沈下が発生した場合は、市町村長などによる保安に関する検査を受けなければならない<sup>7)</sup>とされている。ここで、構造物の支えている端での差を不等沈下量とする。図-11を見ると、改良域が短くなるにつれて沈下量にばらつきが多く見られるが、タンク端付近では改良したケースの中で最大でも4cm程度であり、許容範囲であると考えられる。また、底部まで改良されていないケースに関しては、中央で最大沈下をせず、タンク端付近で大きな沈下をする傾向が見られた。

改良領域全体の変形を見てみると、改良領域の個々の要素の変形はあまり見られず、改良領域周辺の地盤の要素の変形が大きいことがわかる。図-12で、タンク下表層中央から直下にかけての沈下量を示す。図-12から、沈下量が改良領域下の砂地盤ではほぼ同一直線上にあるが、それぞれの改良領域に入ると、ほとんど沈下量が変化しない傾向が見られた。これは、改良効果をよく表している結果といえる。

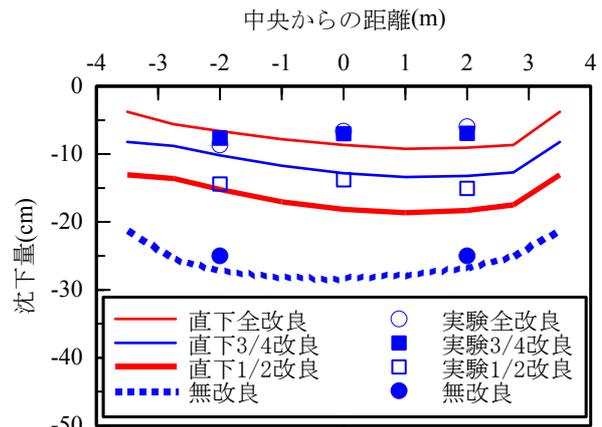


図-11 タンク下の沈下分布 (t=12sec)

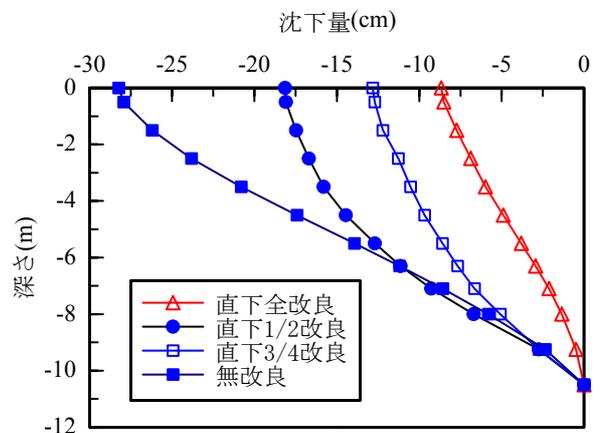
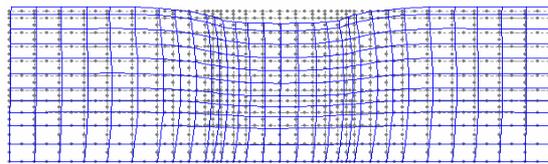
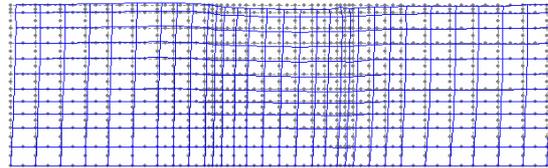


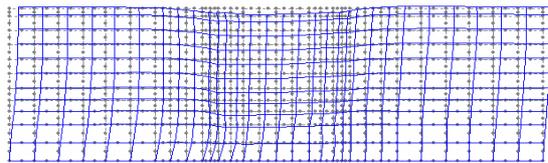
図-12 タンク中央での沈下の深さ方向の分布 (t=12sec)



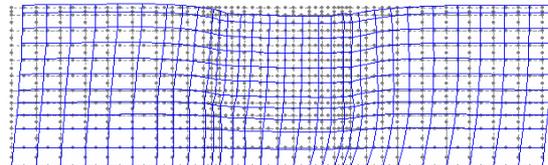
①無改良



②タンク直下全改良



③タンク直下 3/4 改良



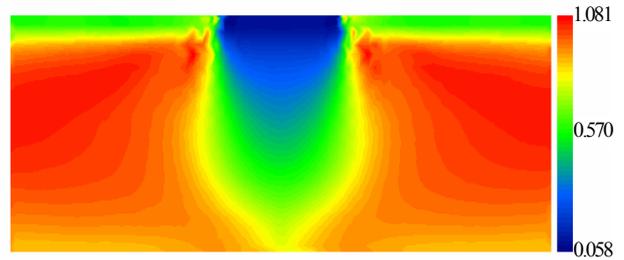
④タンク直下 1/2 改良

図-13 変位図 (変位量を3倍にした,  $t=12\text{sec}$ )

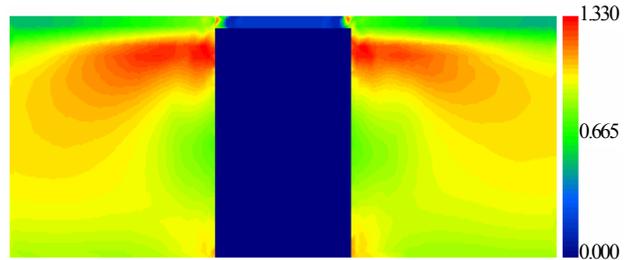
変位最大時の変位図を図-13に示す。無改良の変位図と他の改良された変位図を比較すれば、明らかに沈下量は、改良されたもの、かつ改良領域が大きいものほど小さくなっていることがわかる。また、改良領域が小さくなると全体的に左右への変位が大きくなっているが、無改良では、左右への変位がほとんど見られないこともわかる。無改良のケースでは、液状化による横波の振幅減衰という減少が生じ、水平方向に対し地盤が揺れにくくなる。一方、水圧の影響を考えない改良領域を持つ改良ケースでは、その改良領域が固定基盤層から離れて表層に集中するにつれて、例えば棒の先に重しを付けた物体が、付けない物体に比べ、左右に大きく揺れ動く現象が起こるのではないかと考えた。

次に、図-14に過剰間隙水圧比（過剰間隙水圧／初期鉛直有効応力）の分布を示す。まず、図-14で示す無改良でのケースでは、タンク端付近砂層上部からタンク下を除くほぼ全域で過剰間隙水圧比が1.0を超えていることがわかる。過剰間隙水圧比が1.0を超えている領域では、液状化を起こしている。そして、改良されたケースを見てみると、それぞれタンク端付近砂層上層部から、タンクより離れた方向に向かって、過剰間隙水圧比が

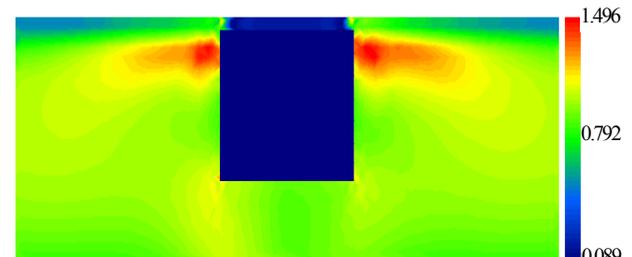
1.0を超えており、この部分で液状化が起きていると考えられる。改良領域が大きくなるほど、図より液状化が抑制されていることがわかった。



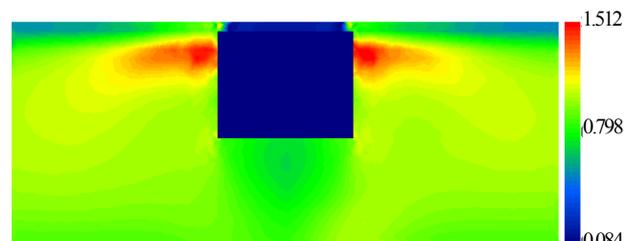
①無改良



②タンク直下全改良



③タンク直下 3/4 改良



④タンク直下 1/2 改良

図-14 過剰間隙水圧比の分布 ( $t=12\text{sec}$ )

## 6. おわりに

薬液注入固化工法を液状化対策工として用いた既設タンク砂地盤の地震時挙動を2次元動的有効応力液状化解析によりシミュレートした。解析結果は動的遠心実験結果とほぼ一致することを示した。また、薬液注入固化工法の地震時タンク基礎の沈下を低減できるメカニズムを解明した。すなわち、注入固化体自体の地震時の沈下が小さいため、タンク直下の薬液注入固化の深度が大きい

ほど、薬液注入固化された地盤の地震時の沈下量が小さくなる。

なお、本研究で示したように、改良体を有するような複雑な地盤に対しても、様々な液状化対策を検討した上で、最も効果的な工法を選定することにより、コストを削減できることが期待される。

#### 参考文献

- 1) 蔡飛, 萩原敏行, 今村眞一郎, 鶴飼恵三: タンク基礎砂地盤地震時挙動に関する2次元有効応力液状化解析, 第11回地震工学シンポジウム, CD-ROM, No. 156, 2002.
- 2) 辻保文, 平野孝行, 木下吉友: 注入固化工法による既設タンク地盤の液状化対策, 配管技術, pp. 18-22, 1999.
- 3) 溝口淳司, 高橋章浩, 竹村次郎, 平野孝行: 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.
- 4) 今村眞一郎, 平野孝行, 佐藤晴彦, 萩原敏行, 竹村次郎: 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

次元遠心振動模型実験, 第35回地盤工学研究発表会, pp. 1679-1680, 2000.

- 5) Zienkiewicz, O.C., Chan, A.H.C., Patstor, M., Schrefler, B.A., and Shiomi, T.: Computational Geomechanics with Special Reference to Earthquake Engineering, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1999.
- 6) 今村眞一郎, 平野孝行, 佐藤晴彦, 萩原敏行, 竹村次郎: 薬液注入固化工法を用いた部分改良による既設タンク地盤の液状化対策工法の提案, 土と基礎, Vol. 49, No. 5, pp. 28-30, 2001.
- 7) (独立行政法人)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC): 石油-天然ガス用語辞典. ([http://oilresearch.jogmec.go.jp/glossary/framesetj\\_hu.html](http://oilresearch.jogmec.go.jp/glossary/framesetj_hu.html)).
- 8) 株式会社フォーラムエイト: 地盤の動的有効応力解析(UWLC), 電子マニュアル. (<http://www.forum8.co.jp>).

(2007.6.22 受付)

## 2D FULLY COUPLED LIQUEFACTION ANALYSIS OF GROUTED SANDY GROUND UNDER TANK

F. CAI, C. TAKAHASHI, T. WATANABE, T. HAGIWARA and K. UGAI

Chemical injection is usually used as a measure to mitigate liquefaction of sandy ground under existed tanks. This paper uses two-dimensional fully coupled liquefaction analysis to investigate the mechanism of chemical injection to mitigate liquefaction of sandy ground under tanks. Numerical results were consistent with the results of dynamic centrifuge tests, including acceleration, excess pore water pressure, and settlement of improved sandy ground under tanks. Numerical results shows that the settlement of the sandy ground under tanks was significantly reduced mainly because the sandy ground improved by chemaical injection settled much smaller than unimproved sandy ground.