

(別紙1)

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

課題番号：第5号

研究課題名：周辺道路も含めた既設宅地及び既設インフラの液状化対策として薄壁改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法による効果的な改良形状および簡易設計手法の開発

研究期間（元号）：平成23年～平成24年

代表者名：清水英樹（前田建設工業株式会社）

研究代表者名：同上

共同研究者名：手塚広明（前田建設工業株式会社）、平田昌史（前田建設工業株式会社）、山内崇寛（前田建設工業株式会社）、岡田直仁（前田建設工業株式会社）

補助金交付総額（円）：16,380,000

研究・技術開発の目的：

本研究は、狭隘地における既設戸建て住宅、社会基盤施設、産業施設等に対して目標性能を設定し、経済的かつ効果的な液状化対策工法およびその設計法、更にその工法を迅速に普及させるために対象エリアの簡易土質条件があれば平易に概略設計が可能となる設計図表を提案することを目的とする。

研究・技術開発の内容と成果：

【研究・技術開発の内容】

(1) 基本方針

1) 地盤改良工法

狭隘地での施工が可能な小型の機械で薄壁形状のセメント改良が可能な自由形状・大口径高圧噴射攪拌工法(マルチジェット工法)を採用した。本研究においてはこの工法を更に狭隘地用に改善すること、および薄壁形状やその他の自由形状を合理的に組み合わせることで大幅なコストダウンを図ることが可能であると考えた。

2) モデル事例

具体的な研究を進めていくにあたって、液状化対策工のモデル事例を設定した。そこで、千葉県浦安市の住宅地に道路や下水道などの公共施設と民間の宅地とを一体化した「市街地液状化対策事業」をマルチジェット工法による薄壁形状やその他の自由形状を合理的に組み合わせ格状改良等を実施することをモデルとして研究を行った。なお、本研究のモデル事例は宅地ではあるが、これで得られた研究成果を応用することで既設戸建て住宅だけではなく、社会基盤施設、産業施設等全般に用いることが可能となる。

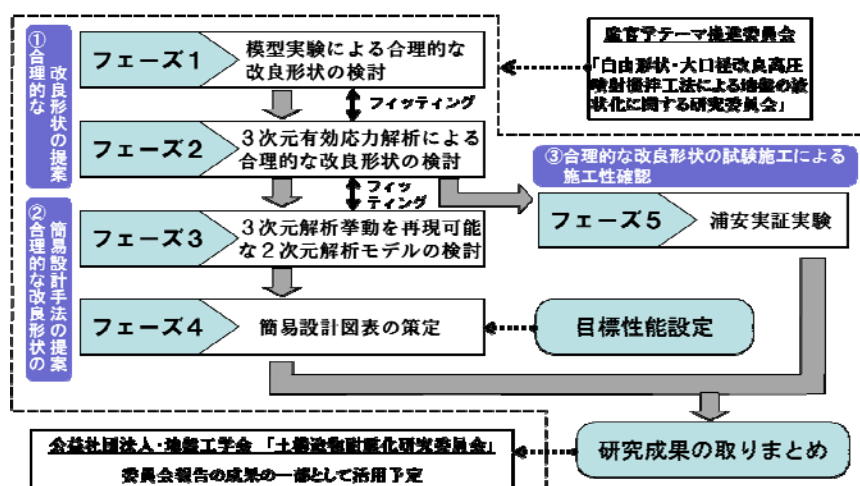
(2) 研究開発項目と研究全体フロー

研究開発項目と研究全体フローを以下に示す。

研究開発項目①合理的な改良形状の提案

研究開発項目②合理的な改良形状の簡易設計手法の提案

研究開発項目③合理的な改良形状の試験施工による施工性確認



(3) 各研究開発項目の内容

①合理的な改良形状の提案

フェーズ1：模型実験による合理的な改良形状の提案

数ケースの改良形状(図 1)を選定し、予備実験で振動台実験による改良形状の可能性検討、次に本実験として遠心载荷実験を行い、合理的な改良形状の提案を行う。

フェーズ2：3次元有効応力解析による合理的な改良形状の検討

模型実験による合理的な改良形状に対し解析的に検討を行う。解析的に検討を行うには、3次元の挙動を再現する必要がある、本研究では一般的な2次元有効応力解析として普及しているコード「FLIP」の3次元有効応力解析が可能な「FLIP3D」を用いる。

しかし、このコードはまだ使用実績は少ないことからその再現性および境界条件等のモデル設定の妥当性も含めて検証する必要がある。そこで本研究においては、まずフェーズ1で実施した遠心载荷実験モデルを再現した3次元有効応力解析を実施して3次元解析モデルの妥当性を検証する。次に妥当性を検証されたモデルの考え方をを用いて、具体的な事例として浦安運動公園の地盤モデルの解析を行い、合理的な改良形状の検討を行う。ここで、浦安市運動公園の地盤モデルで解析を行った理由は、今回提案する合理的な改良形状を造成するマルチジェット工法の実証実験工事を運動公園で実施したことによるものである。

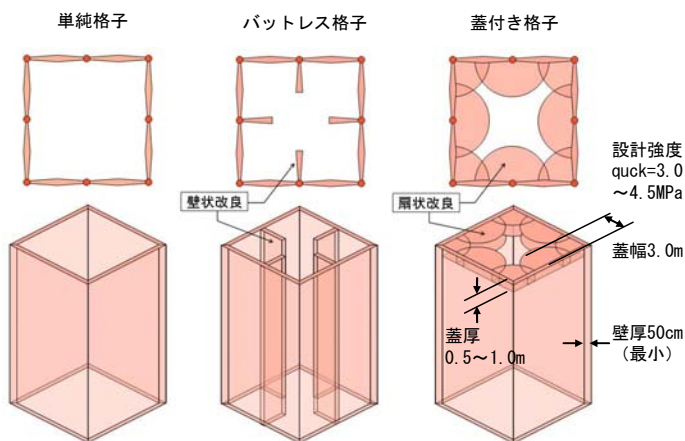


図 1 改良形状ケース

②合理的な改良形状の簡易設計手法の提案

フェーズ3：3次元挙動を再現できる2次元有効応力解析モデルの検討

平易に概略設計が可能な設計図表策定のためには土質条件等をパラメータとした数多くの有効応力解析によるパラメトリックスタディが必要となるが、これを3次元有効応力解析で行うことは1ケースの解析時間に数日を要することを考慮すると難しい。そこで、3次元挙動を再現できる2次元有効応力解析モデルの確立が必要となる。

フェーズ4：簡易設計図表の策定

合理的な改良形状による液状化対策を迅速に普及させるために、対象エリアの土質条件等

(別紙1)

で平易に概略設計が可能となる簡易設計図表を策定する。本研究では千葉県浦安市をモデルとし、簡易設計図表の策定のためのパラメトリックスタディはフェーズ3で検討した3次元有効応力解析を再現できる2次元有効応力解析モデルを用いる。

③合理的な改良形状の試験施工による施工性確認

フェーズ5：浦安実証実験

既設戸建て住宅に適用できる超小型マシン(図2)を開発し、宅地を想定したヤードにて、合理的な改良形状の改良体を造成し、施工性(狭隘地での施工)や周辺への影響(騒音、振動、造成に伴う沈下)、品質確認(出来形、強度)、改良効果確認(人工地震による検証)を実施する。

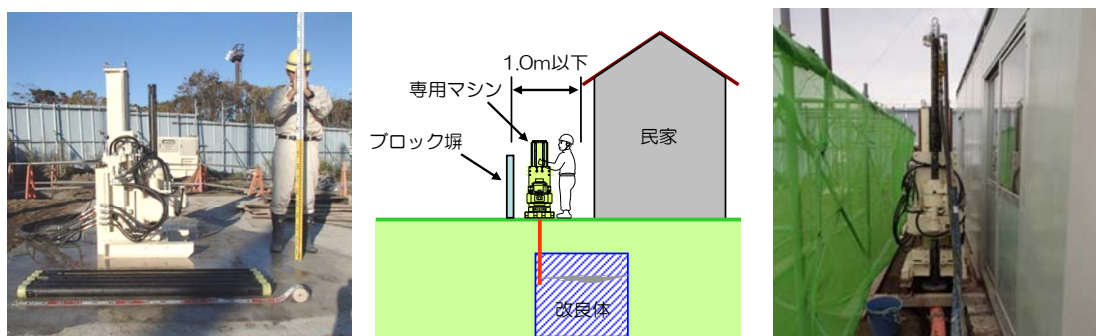


図2 既設戸建て住宅向け超小型マシン

【研究・技術開発の成果】

上記研究フェーズに対して成果を以下に示す。

①合理的な改良形状の提案

フェーズ1：模型実験による合理的な改良形状の提案

- 改良形状による効果は、単純格子(着底型) < バットレス格子(着底型) < 蓋付き格子(着底型)の順で高く、特に蓋付き格子については、上層付近の過剰間隙水圧抑制効果と地表沈下抑制効果が特に優れていた。
- 蓋付き格子(着底型)に対して、宅地部を浮き型(道路部は着底)とした場合でも、地表沈下量抑制効果に対しては同等の効果を有していることが確認できた。

フェーズ2：3次元有効応力解析による合理的な改良形状の検討

- 3次元有効応力解析(FLIP3D)で模型実験(遠心载荷実験)の5ケース(無対策, 単純格子(着底型), バットレス格子(着底型), 蓋付き格子(着底型), 蓋付き格子(一部着底型))を再現したモデルでは、地表面沈下量に対して高い精度で再現できることを確認した(図3)。

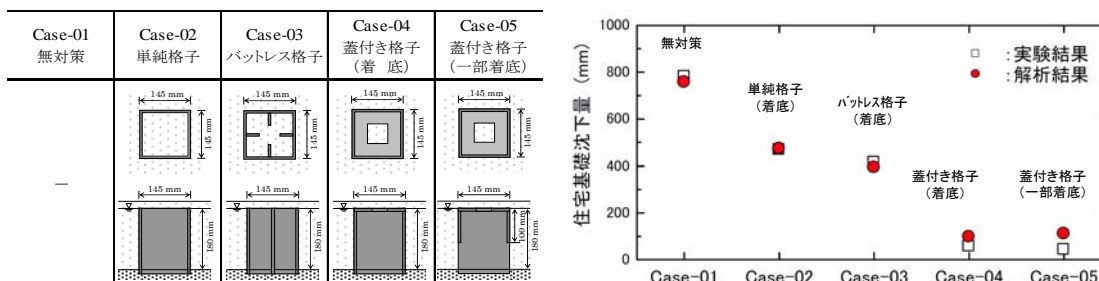


図3 3次元有効応力解析と遠心载荷実験結果の対比

- 蓋付き格子は地表面付近の過剰間隙水圧発生を効果的に軽減できることを確認した。これは模型実験結果と同様の結果である(図4)。

(別紙 1)

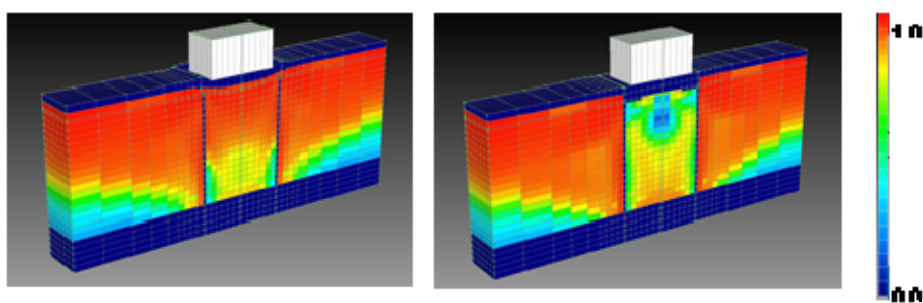


図 4 過剰間隙水圧比の対比(単純格子・蓋付き格子)

- 格子状改良全般(単純格子, バットレス格子, 蓋付き格子)において建物傾斜に対する抑制効果を確認した. これは, 改良体で境界を区切る縁切り効果で隣接する建屋の影響を軽減したと考えられる(図 5).

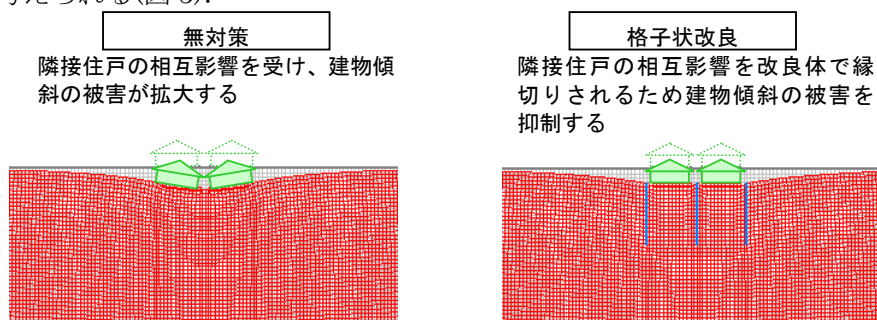


図 5 格子状改良の縁切り効果による建物傾斜抑制効果

②合理的な改良形状の簡易設計手法の提案

フェーズ 3 : 3 次元挙動を再現できる 2 次元有効応力解析モデルの検討

- 単純格子の場合, 3 次元有効応力解析によると改良体上部の変形(たわみ)がかなり大きい. 従来の 2 次元有効応力解析モデル(二重要素モデル)では, この改良体上部の変形を表現できないため, 危険側の結果となることが判明(図 6).
- 蓋付き格子の場合, 3 次元有効応力解析によると改良体上部の変形が蓋部で拘束するため, 改良体上部の変形(たわみ)はかなり抑制できる. したがって, 従来の 2 次元有効応力解析モデル(二重要素モデル)によるモデル化方法でもほぼ同程度の解析結果となった(図 6).

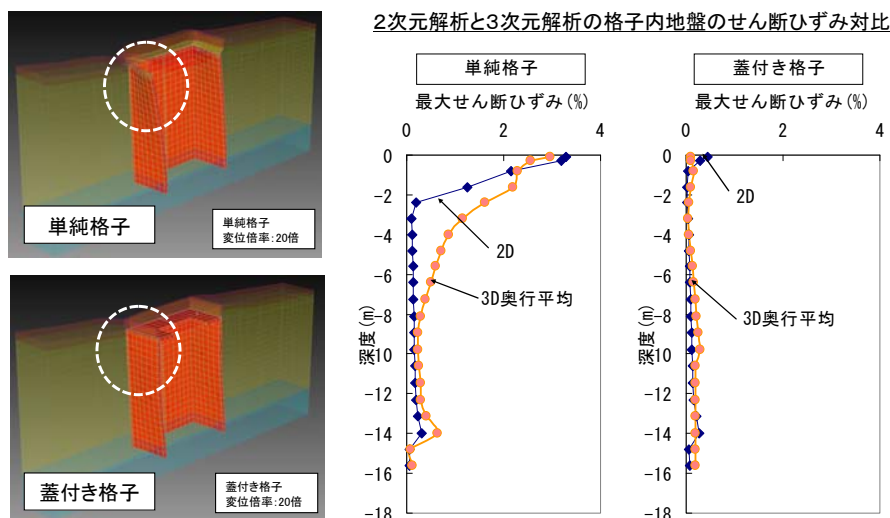


図 6 大スパン格子状改良の変形状況

(別紙1)

- ・ 単純格子の場合、3次元挙動を再現できる2次元有効応力モデルは、改良体剛性を低減することで再現することが可能であった。本研究では、改良体剛性の低減量は、解析コードTDAPⅢ(2D, 3D)を用いて定量的に評価した。

フェーズ4：簡易設計図表の策定

- ・ フェーズ3で確立した3次元挙動を再現できる2次元有効応力解析モデルを用いて、千葉県浦安市の地盤モデルとして、パラメトリックスタディを行った。その結果、目標性能に応じて、液状化層厚がわかれば格子スパン(単純格子, 蓋付き格子)が算定できるような簡易設計図表を策定した(図7)。
- ・ 目標性能を中地震動(200gal(M9.0))で地表沈下量 $D_{cy} \leq 5\text{cm}$, 地表付近の非液状化層厚 $H_1 \geq 3\text{m}$, 大地震動(350gal(M7.3))で地表沈下量 $D_{cy} \leq 10\text{cm}$ とすると、本研究で策定した簡易設計図表によれば、浦安市では中地震動では、単純格子ならばピッチ $13\text{m} \times 16\text{m}$ (1住戸1格子), 蓋付き格子ならばピッチ $26\text{m} \times 32\text{m}$ (4住戸1格子), 大地震動では、蓋付き格子ピッチ $13\text{m} \times 16\text{m}$ (1住戸1格子)で目標性能を満足することができることを確認した。

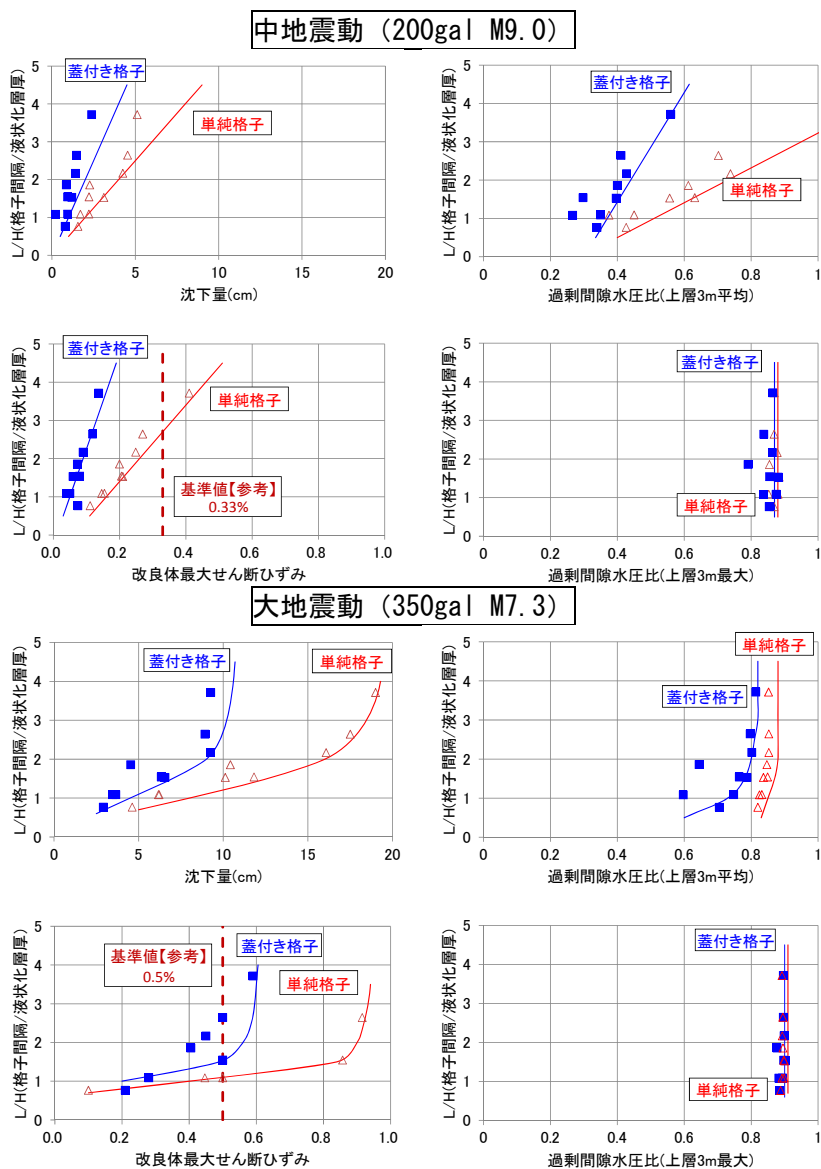


図7 簡易設計図表(千葉県浦安市モデル)

③合理的な改良形状の試験施工による施工性確認

フェーズ 5：浦安実証実験

- ・ 狭隘地向け超小型マシンの施工性は、標準的な造成 1 孔を 1 日のサイクルで施工完了でき、効率的な施工が可能であることを確認した。また、専用の排泥処理装置を適用することで周辺を排泥で汚さずに施工できた。
- ・ 周辺への影響(騒音, 振動, 造成に伴う沈下)では、騒音は 70~80dB, 振動は 60~70dB の範囲であり、特定建設作業の基準値(騒音 85dB, 振動 75dB)以下であることを確認した。造成に伴う沈下では、最終沈下量が数 mm 程度の非常に小さいものであり、既設建物への影響はほとんど発生しないものと考えられる。
- ・ 品質確認(出来形)は、改良体の一部を掘起して確認した。設計値をすべて満足する結果であった。品質確認(強度)は掘起した改良体の一部をブロックサンプリングし一軸圧縮試験と圧裂引張試験を実施した。設計値に対して 2 倍程度であることが確認できた。なお強度確認は根元部とラップ部で実施しているが、有意な強度差は確認されなかった。
- ・ 改良効果確認(人工地震による検証, 図 8, 図 9)では、相対比較となるが、過剰間隙水圧比で原地盤(無対策)に対して単純格子では 1/2 程度、蓋付き格子では 1/3 程度の抑制効果であった。

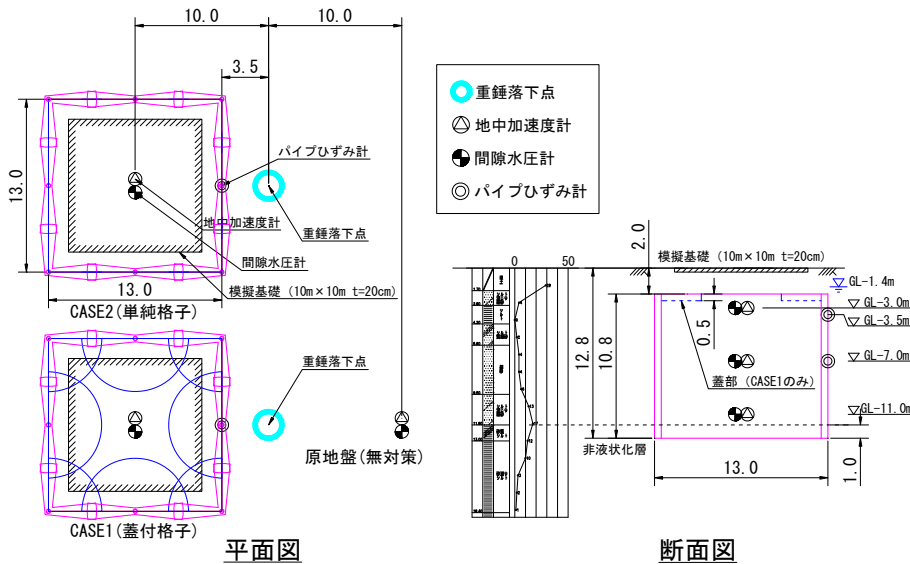


図 8 試験概要図

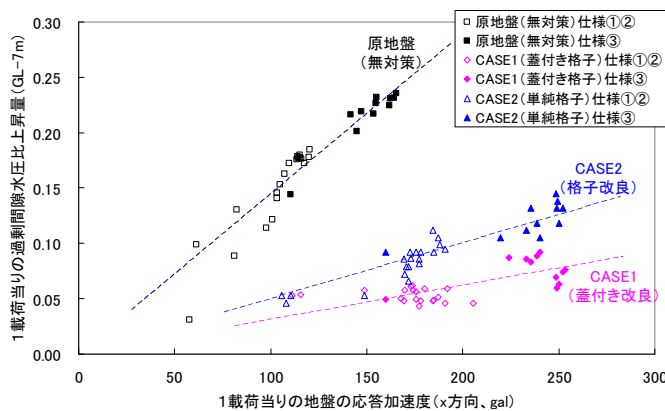


図 9 人工地震による改良効果確認結果

(別紙1)

研究成果の刊行に関する一覧表：

- 1) 第9回地盤工学会関東支部発表会 GeoKanto2012 (論文発表および口頭発表, 平成24年10月)
- 2) 第48回地盤工学研究発表会 (論文発表および口頭発表, 平成25年7月予定)
- 3) 地盤工学ジャーナル (平成25年4月投稿予定)
- 4) 研究成果報告書 (平成25年4月刊行予定)

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

(知的財産の内容, 種類, 番号, 出願年月日, 取得年月日, 権利者)

- 1) 液状化対策として経済的で効果的な格子状改良形状と形成方法 (その1), 特許, 特願2012-056659, 平成24年3月14日, (未公開), 手塚ら (計4名)
- 2) 液状化対策として経済的で効果的な格子状改良形状と形成方法 (その2), 特許, 特願2012-207841, 平成24年9月21日, (未公開), 清水ら (計4名)

成果の実用化の見通し：

本研究は, 千葉県浦安市において, 道路や下水道などの公共施設と民間の宅地とを一体化した「市街地液状化対策事業」を想定し, 経済的かつ効果的な改良形状の開発とその簡易設計図表の研究を行なった. その結果, 蓋付き格子状改良を提案・検証することができた. 成果の実用化の見通しについて以下にまとめる.

- ① 従来の格子状改良では, 改良率が50%程度であるのに対し, 本成果を活用すれば改良率を7~10%程度の改良率まで削減でき, 従来工法に対して大幅にコストを削減できる. 所有者1軒当たりの概略負担額は中地震動では100~200万円程度, 大地震動では400~500万円程度である. 経済性に優れた本成果の活用で, 市街地液状化対策事業の大きな課題でもある所有者合意形成を促進し, 事業の実現化が図れる.
- ② 合理的な改良形状(蓋付き格子)の簡易設計図表を活用することで, 市街地液状化対策事業の改良仕様を平易に算定できる. これらの設計手法により「市街地液状化対策事業」の普及までの迅速化が期待できる.
- ③ 開発した狭隘地向け超小型マシンを用いて, 既設戸建て住宅を想定した実証実験による検証結果から, 本成果の実用化については十分可能である.

なお, 本成果を用いれば, 浦安市以外の市街地液状化対策事業は当然のことながら, その他狭隘地における社会基盤施設, 産業施設等に対しての液状化対策にも十分活用ができる.