

平成 30 年 5 月 31 日

建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書

国土交通大臣 殿

(交付申請者)

所在地	〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1
機関名	岐阜大学
部署・職名	工学部社会基盤工学科・教授
氏名	八嶋 厚 (印)

建設技術研究開発費補助金による以下の補助事業について、建設技術研究開発費補助金交付要綱第 17 条第 3 項の規定に基づき、下記を別紙にて報告します。

1. 課 題 名：既設宅地のスマート液状化対策工法の開発
2. 研究代表者：八嶋 厚 (岐阜大学・教授)
3. 交 付 総 額：37,617 千円
4. 実 施 期 間：平成 28～29 年度

記

1. 建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書【概要版】(別紙 1)
2. 建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書 (別紙 2)

建設技術研究開発費補助金 総合研究報告書【概要版】

(1) 課 題 名：既設宅地のスマート液状化対策工法の開発

(2) 研 究 期 間：平成 28～29 年度

(3) 交 付 申 請 者 名：八嶋 厚（岐阜大学・教授）

(4) 研 究 代 表 者 名：八嶋 厚（岐阜大学・教授）

(5) 共 同 研 究 者 名：沢田 和秀（岐阜大学・教授）
余川 弘至（中部大学・助教）
村田 芳信（地盤防災ネットワーク・理事長）
荻谷 敬三（岐阜大学・客員教授）

(6) 補 助 金 交 付 総 額：37,617,000 円

(7) 技術研究開発の目的

本研究は、狭隘なスペースで建物周辺ならびに基礎下に高性能排水材を回転圧入することが可能な低振動低騒音型小型回転貫入装置の開発と、既存宅地における液状化対策の効果判定が可能な数値解析手法の開発により、調査・設計から施工までを経済的に実現できるスマート液状化対策工法を確立し、その普及と社会実装による地域防災力ならびに生産性の向上を目的とする。開発目標は以下のとおりである。

1) 狭隘な場所において施工が可能となる低振動低騒音型小型回転貫入装置を開発する。既存の貫入装置を改良することにより、①振動レベルを 75 dB以下。②騒音レベルを 85 dB以下。③貫入速度を 1.0m/分以上。④鉛直および斜め打ちの貫入精度を $\pm 3^\circ$ とする。また通常の宅地の場合、施工期間は準備工を含めて 5 日以内、施工費用は 150 万円以内を達成する。

2) 液状化地盤上の小規模建築物について、複雑な数値解析を実施することなく、通常の液状化判定チャートにより、対策前および対策後の沈下および傾斜を予測できる簡易法を開発する。①従来の液状化判定チャートでは、定性的評価のみ可能であった建物被害について、沈下量と傾斜量のある程度の精度で予測できるものとする。②本システムでは小型動的コーン貫入試験を用いた液状化判定調査で十分なものとする。これにより、4号建物について、傾斜量を 6/1,000 以下に抑えるための液状化対策が、簡易設計法によって瞬時に決定される。

(8) 技術研究開発の内容と成果

1. 低振動低騒音型小型回転貫入装置の改良

これまでに、既存宅地において、間伐材と固化材を地中に打設する液状化対策工法を提案し、実現するための施工機械の開発を行ってきた。その結果、N 値 20 前後の地盤への貫入や 1 日当たり 50m の貫入能力があることを確認してきた。しかし、この施工機械は油圧パーカッション方式を採用しており、隣接する住宅がある場合には、騒音や振動の問題が生じる。また、反力不足を補うためには、施工機械を大きくする必要があり、狭隘地での施工が難しくなるという問題があった。そこで騒音振動対策として、パーカッション方式による貫入から「回転圧入方式」に変更した。この場合、これまで以上に反力が必要となることから、あらかじめスクリュウアンカーにより反力架台（H 型鋼）を設置すること

とし、この架台上を貫入装置が移動することで作業の効率化を図るものとした。さらに、施工機械は狭隘地での施工を考慮して、分解した各部品が最大 30kg 程度になるように可搬性を高めた。

本装置の主な特徴を示す。

- ① ケーシングを鉛直のほか最大傾斜角 45 度の貫入が可能。
- ② 圧入及び回転は 0.74kW モーターを使用し回転トルクは最大 320Nm。
- ③ 地中に打設するドレーン材は立体網目状のポリプロピレン製の排水パイプであり、軽量、高強度。
- ④ 圧入先端ビットはプラスチック製の捨てビットとし、低コスト化を図った。

本装置を用いて試験打設を行ったところ、発生する騒音・振動は振動規制法ならびに騒音規制法に示される基準値を大きく下回ることが確認できた。また目標深度(4m)まで貫入させることができた。

2. 模型実験による対策効果の確認

液状化時の住宅沈下および地盤の変形を確認するために、水平一方向に加振可能な電気油圧サーボ方式の加振装置と前面をアクリル板とした剛土槽を組み合わせた振動台実験装置を使用し、1/40 スケールの模型振動台実験を行った。模型地盤は、相対密度 30% を目標に、三河珪砂 6 号を地盤高さ 400mm となるように水中落下法で作製した。住宅模型は、塩ビ製の箱とアルミ板(重量物)によりモデル化した。模型振動台実験の振動台に入力した地震動は、中地震を想定した周波数 5Hz、最大加速度 200gal、入力時間 16 秒の正弦波である。実験は無対策およびドレーンの配置箇所を変えた 3 ケースの計 4 ケースを実施した。

各ケースの過剰間隙水圧の時刻歴を比較すると、どのケースも加振開始と同時に過剰間隙水圧が上昇し、液状化の発生を防止するほどの対策の効果は見られなかったが、過剰間隙水圧の消散過程においては、対策によりその効果の違いがみられた。住宅沈下量を比較すると、どのケースも加振開始直後に大きく沈下し、その後は、過剰間隙水圧が消散されるまで緩やかに沈下している。住宅の沈下量を抑制するためには、住宅直下に対策を施すことが重要であることが分かった。しかし住宅周囲のみに対策を施したケースにおいても無対策に比べある程度の住宅沈下の抑制効果が得られることが確認できた。

3. 簡易的な要求性能設計法の開発

本研究では、SPH 法による 2 次元静的液状化解析プログラムを用い、無対策時の液状化による住宅の被害程度を予測することを目的とする。検討の対象は、木造 2 階建、延べ面積 500m² 以下の戸建て住宅(4 号建物)およびその住宅が立地している液状化地盤である。

模型振動台実験、有効応力解析および SPH 法による 2 次元静的液状化解析の地震動終了後の変形状況を比較したところ、模型実験に比べ有効応力解析、SPH 法ともにやや沈下量を大きく見積もる結果となったが、SPH 法では、液状化後の構造物の沈下によって生じる地表面の変形挙動(めり込み沈下)を表現できた。

東日本大震災で液状化被害を受けた住宅を対象に再現解析を試みた。対象地点は、浦安市内で住宅の被災状況が調査され、ボーリング調査が実施されている地点とした。SPH 法によって求められた住宅の被災度と実際に調査された被災度を比較すると、概ね被災状況を再現できることが確認できた。

液状化シートを利用した架空モデル地盤における予測解析により、同じ被害度レベルであっても、住宅の沈下量に差が出ることを示すことができた。また地表面の液状化層の影響や、Dcy が与える住宅沈下量への影響を明らかにすることができた。

SPH 法による解析により、液状化時に生じると考えられる被害度を「住宅の沈下量(傾斜量)」という定量的な値で表現することができた。

4. 現場試験施工

改良した貫入装置を用いて、現場実証試験ならびに試験施工を実施した。

現場実証試験は、愛知県あま市の宅地において、改良域(鉛直ドレーンを 30cm 間隔で千鳥配置、6 本打設)と未改良域を設定し、それぞれ深さ 2m と 4m に地中間隙水圧計を設

置き、改良域と未改良域の中間点でH型鋼を加振打設し、その際に発生する過剰間隙水圧の変化を捉えて、改良効果を確認した。間隙水圧の観測結果から、地表面付近の液状化層において、改良域では間隙水圧の発生を3割減少させ、間隙水圧の消散時間をほぼ半減させることが確認できた。

現場実証試験の結果を受けて、同場所の既存宅地において試験施工を実施した。昭和56年以前の建物であることから、あま市の助成により木造住宅耐震診断を受け、建物の耐震補強を実施する。これに併せて、地盤調査ならびに基礎構造調査を実施し、地盤ならびに基礎補強の必要性を調査したところ、建物周辺の地盤においてNd値<10の有害な不同沈下を生じる改良対象範囲が判断された。建物周辺には構築物もあり、施工可能な範囲に最小打設間隔で、建物の東西ならびに南北に対策を実施した。

ドレーンは建物壁面と並行に30cm間隔で2列配置し、鉛直ドレーンは60cm間隔を千鳥に、斜めドレーンは建物側の垂直ドレーンの間(60cm間隔)に配置した。打設したドレーン材は鉛直打設86本、斜め打設21本、実施日は9日間であった。

試験施工において明らかとなった課題を解決するため、専用ケーシングの製作、モーターの小型化、圧入システムの改良、本体の軽量化等、さらさら改良を実施した。

5. 作業手順書と対策工設計要領

研究成果に基づいてスマート液状化対策工法の作業手順書を作成した。

開発された工法が実用化されるためには、地盤調査から最適な対策の提案までを効率的に行う必要がある。そこで、地盤調査結果および構造計算書から得られる建物の重量や大きさを入力することで、自動的に数値解析の入力データを作成し、解析できるインターフェースを作成した。

(9) 論文発表等に関する件数

原著論文 (査読あり)	原著論文 (査読なし)	原著論文以外 (新聞・雑誌等)	その他 (パネル・ポスター等)	合計
2件	11件	0件	2件	15件

(10) 知的財産権に関する件数

特許権 (取得)	特許権 (出願)	その他 (実用新案・商標等)	合計
0件	0件	0件	0件

(11) 成果の実用化の見通し

本研究において改良した貫入装置によりドレーン効果を確認するための現場実験、ならびに実際の住宅において試験施工を実施した。またこの試験施工より明らかとなった課題を解決するために貫入装置をさらに改良した。

岐阜県周辺では、東海東南海地震の発生が危惧されており、特に岐阜県と愛知県に広く分布する濃尾平野は、非常に軟弱で液状化の発生確率が極めて高い地域であることから、既設宅地での液状化対策の要望は非常に高まっている。本研究における提案工法は、対策前後の効果も明らかにし、住民の費用に応じた対策メニューを提案できるという点で、非常に優れている。今後の事業化へ向けて、特定非営利活動法人地盤防災ネットワークを中心とした実施計画策定を進めている。また、本研究において産学官テーマ推進委員会の委員を務めて頂いた(一社)中部地域づくり協会では、一般市民向けに本工法を含む液状化対策工法の紹介リーフレットを作成いただいております。今後の広報活動において広く防災対策意識の向上を図っていく予定である。

(12) その他

なし