

「宅地の液状化対策技術に関する研究」（令和４年度～令和７年度）評価書（年度）

令和７年２月２０日（木）
建築研究所研究評価委員会
構造分科会長 田才 晃

1. 研究課題の概要

（１）背景及び目的・必要性

2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震、2018年北海道胆振東部地震では、宅地液状化の被害が社会で大きく注目され、行政や学協会が対策に動いてきたが、未だ顕著な成果に至ったとは言い難い。一方で、大地震時に宅地の液状化を全く許容しない直接基礎の設計は過度に不経済であり、また、宅地の液状化対策工の効果を適切に評価できる方法も現時点では見あたらない。このため、宅地耐震化の実現に向けて、液状化対策に関する技術的諸問題の解消が切望されている。

以上の背景から、本研究は、直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアの明確化および宅地の液状化対策工の効果を実証する地盤試験システムの構築に係る検討・提案を行い、これらの妥当性と有効性を示すことで、宅地の液状化対策技術の開発を推進することを目的とする。

（２）研究開発の概要

震災事例のデータ収集と分析、建築研究所が所有する遠心載荷装置と液状化対策地盤試験装置を最大限に利活用した室内実験と現場実験、観測事実と実験結果の再現解析など客観的かつ合理的な手法に基づいて、次のサブテーマ（１）（２）の検討を実施する。

サブテーマ（１）直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアの提案

令和４年度

液状化地盤における直接基礎の挙動に関する遠心場振動実験および実用的な沈下予測法に関する既往文献調査を行う。次年度以降の宅地（戸建住宅－直接基礎－地盤連成系）の縮小模型を用いた遠心場振動実験の計画を立案する。なお、令和４年４月に建築研究所の遠心載荷試験装置が故障して使用不能となり、令和４年度末の時点で修理目処が立たないことから、今後の遠心場振動実験計画は装置の実状に応じて柔軟に検討したい。

令和５年度

宅地の縮小模型を用いた遠心場振動実験を行い、地盤の相対密度や戸建住宅の接地圧が液状化地盤における沈下・傾斜に与える影響を把握する。この際、住宅と液状化地盤の動的相互作用（SSI）の寄与を評価できる実験内容とする。なお、遠心実験は、竹中工務店の遠心載荷試験装置を使用する。

令和６年度

前年度の計画を継続し、地下水位をパラメータとして液状化地盤における沈下・傾斜を評価するための遠心実験データを蓄積する。なお、遠心実験は、令和６年８月末に建築研究所の遠心載荷試験装置が復旧したことから、同年９月より同装置を使用して行っている。

令和７年度

前年度の計画を継続し、不足する遠心実験を行い、実験データを蓄積・整理するとともに、これらの実験データに対して、地盤の液状化を考慮した数値シミュレーションを行い、SSIを含む沈下・傾斜メカニズムの解明を目指す。また、過去の震災における液状化地盤の戸建住宅の沈下・傾斜被害データに照らして、直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアを提案する。

サブテーマ（２）宅地の液状化対策工の効果を実証する地盤試験システムの提案

令和４年度

液状化対策工の効果を実証する地盤試験システム（以下、液状化対策効果試験システム）について、

建築研究所の敷地内で試運転を行う。また、次年度以降の現場実験サイトを選定する。

令和5年度

地盤の密度増大による液状化対策工法を対象に、茨城県神栖市の敷地において、対策の行われた場所と行われていない場所で、提案する液状化対策効果試験システムを用いて地中加振による地盤の間隙水圧上昇・消散を計測し、その時間変化の様子が対策の有無により異なることを確認する。

令和6年度

前年度と異なるドレーン（排水）による液状化対策工法を対象に、愛知県津島市の敷地において、同様の現場実験を行う。地盤の間隙水圧上昇・消散データを取得し、その時間変化の様子が対策の有無により異なることを確認する。

令和7年度

令和5-6年度と異なる密度増大による宅地向け液状化対策工法を対象に、茨城県稲敷市の敷地において、同様の現場実験を行う。地盤の間隙水圧上昇・消散データを取得し、その時間変化の様子が対策の有無により異なることを確認する。

以上の現場実験で得られた間隙水圧データを再現する数値シミュレーション解析を行い、その結果に基づいて大地震時の液状化対策効果を外挿的な解析により推測することを試みる。現場実験・数値解析の結果を整理することで、提案する液状化対策効果試験システムの有効性と適用限界を総括する。

（3）達成すべき目標

- 1) 直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアの提案
- 2) 液状化対策効果試験システムの提案

（4）令和6年度の進捗・達成状況

サブテーマ（1）直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアの提案

戸建住宅の液状化被害は非液状化層厚が3m以上あれば小さいと言われている。しかし、2次設計レベルの地震動（大地震動）に当てはまるか、近年の大きな接地圧の住宅に当てはまるか、不明である。昨年度は地下水位3mとして、液状化層の相対密度と住宅モデルの接地圧をパラメータとした遠心振動台実験を行った。本年度は、地下水位をパラメータとした遠心振動台実験を実施した。

実験パラメータ、既往の文献で提案されている鉛直荷重のつり合いによる安全率（抵抗力：表層地盤のせん断抵抗／外力：建物自重）の値が0.3程度を下回ると、住宅モデルのめり込み沈下量が急激に増大する傾向が認められた。抵抗力を、地下水位で浅い地盤のせん断抵抗のみとしているため、安全率の値を小さく見積もっているかもしれないが、これらの指標を用いることで、被害の程度を推測できる可能性が示唆され、また、直接基礎として設計可能な宅地の液状化クライテリアの提案に繋がられると考えられる。

サブテーマ（2）宅地の液状化対策工の効果を実証する地盤試験システムの提案

前年度と異なる、排水による液状化対策工法（もやいドレーン：BL 評価取得）を対象に、愛知県津島市の敷地において、ドレーン対策エリアと無対策エリアで、提案システムの実証試験を1月下旬に行った。実験で得られた水圧過程から、ドレーン対策されていることで、地中起振源（小型バイブレータ）により生じる（起振中の）水圧について、最大となるまでの時間が半減される効果、最大値が僅かだが低減される効果、最大となった後の消散が僅かだが促進される効果、が認められた。このことは、提案システムの有効性を示す一事例になると考えられる。

なお、バイブレータは、ドレーン対策エリアと無対策エリアで同様の沈下過程を示すことが予想されたが、無対策エリアで起振開始直後に沈下が止まってしまった。この原因として、今のところ想像だが、地中の礫や石などに接触して止まったか、あるいは、起振孔の掘削時に接触した礫や石などを押し込んでしまった等の可能性が考えられ、確認のため追加のSWS調査を4月に予定している。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見

- (1) 背景（目的・必要性）及び目標とする成果、成果の活用方法が国の方針や社会のニーズに適合しているか。研究開発の計画が具体的に立案されているか。
- ・本研究開発課題は、巨大地震等による住宅・建築の構造安全性等を確保し、安心・安全な社会を実現するために必要な喫緊の課題であり、国の方針と社会のニーズに合致していることは、過年度での評価と変わらない。宅地の液状化クライテリアの明確化と、宅地の液状化対策工法の効果を実証する試験システムの構築は、近年の大地震の教訓も踏まえ設定されたサブテーマであり、的確である。建築研究所の有する実験施設の活用や現地試験からなる研究計画は、具体的に立案され、実施されている。
 - ・宅地の液状化は 2011 年東北地方太平洋沖地震、2024 年能登半島地震の例を出すまでもなく、その重要性が高まっている。国が目指す国民の安全安心には欠かすことのできない一つのテーマで社会のニーズに適合しているという点では間違いない。クライテリアの提案と対策効果試験システムの提案の二つのテーマの設定も的確であり、その具体の研究計画である遠心振動台実験なども周到に練られている印象である。
 - ・本研究は、直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアの明確化および宅地の液状化対策工の効果を実証する地盤試験システムの構築に係る検討・提案を行い、これらの妥当性と有効性を示すことを目的としている。令和 6 年度では、地下水位をパラメータとして液状化地盤における沈下・傾斜を評価するための遠心実験データの蓄積、ならびに液状化対策工法を対象とした地盤の間隙水圧上昇・消散データを取得している。
 - ・宅地の液状化クライテリアの明確化と液状化対策工の実証は、国土強靱化対策や社会ニーズにも適合している。研究開発計画も具体的に立案されている。
- (2) 他機関との関係等、効果的かつ効率的な研究のために必要な体制が取られているか。技術的支援や普及のための活動等、成果の最大化のための取組がなされているか。
- ・客員研究員の所属大学（千葉工大）の研究室との連携、液状化対策工法の所有技術者や外部組織の関係者（大成建設等、岐阜大学等、旭化成建材）との協力体制、地盤調査会社（東京ソイルリサーチ）の実験補助支援など、可能かつ有効な組織的取り組みで、精力的に研究開発を遂行している様子がうかがえる。
 - ・若手の客員研究員をはじめとして多くのエフォートを割いていただき人員不足を補えるような体制が組んでいる。さらに、大所高所の立場から意見を求めることのできる人材、民間企業や評価機関との連携によって、効率化が図られている。日本建築学会のメンバーにハウスメーカーの方がいるというコメントで多少安心はしたものの、学会内の領域にとどまらず、住宅の供給者の目に留まり、普及できるよう配慮いただきたい（所見①）。
 - ・サブテーマ（1）では、千葉工大の研究室を中心として、他の客員研究員のサポートを得ながら、計画・遂行している。また、建築研究所の遠心載荷装置が使用不能の期間は、竹中技研の遠心載荷装置を使用して液状化実験を実施し、適切な協働体制が構築されている。また、サブテーマ（2）においてもベターリビングを介した体制を構築している。
 - ・実験施設や研究員との連携において、必要な体制が取られている。学会発表、論文発表と合わせて、プレス発表なども行って一般社会への情報提供も行われると良いと思います（所見②）。
- (3) 研究開発が目標に向けて順調に進捗しているか。
- ・「宅地の液状化クライテリアの明確化」では、復旧を終えた遠心載荷装置により、地下水位をパラメータとした遠心振動実験を実施し、データの分析から、外力に対する抵抗力の比率が被害程度を推測するための液状化クライテリアに繋がる可能性を見出した。「液状化対策効果試験システム」では、ドレーンによる対策工法を対象に実施した現場起振実験を実施し、提案システムの有効性を示す複数の効果を確認した。このように令和 6 年度の開発研究においても、順調な進捗がうかがえる。
 - ・サブテーマ（1）の宅地の液状化クライテリアの提案に関してはすでに原案ができており順調に進捗している。サブテーマ（2）の液状化対策効果試験システムについては実験結果からは効果の検証が

読みにくい結果となったが、そのような結果への対応も今後予定されているようであり、直接的な目標の達成とはなっていないが、貴重なデータが蓄積されており、順調な進捗と判断できる。

- ・サブテーマ（１）では、地下水位をパラメータとし、被害の程度を推測できる可能性が示唆され、また、直接基礎として設計可能な宅地の液状化クライテリアの提案に繋がれると考えられる。サブテーマ（２）では、地中起振源の不具合が生じたが、提案されている液状化対策工の地盤試験システムの有効性を示す一事例が示された。
- ・研究の途中で、建築研究所保有の遠心実験施設の不調はあったが、それを補う対策を取り、研究開発は順調に進捗していると判断される。

（４）総合所見

- ・本指定課題は、安心・安全な社会を構築するための喫緊で重要なテーマである。実用性、経済性を意識した成果を得るため、他機関との連携等、効率的な研究のために必要な体制を取りながら研究を推進した。復旧を終えた遠心載荷装置により、地下水位をパラメータとした遠心振動実験を実施し、データの分析から、外力に対する抵抗力の比率が被害程度を推測するための液状化クライテリアに繋がる可能性を見出した。また、ドレーンによる対策工法を対象に実施した現場起振実験を実施し、提案システムの有効性を示す複数の効果を確認した。このように令和６年度の開発研究においても、順調な進捗があったと判断する。

令和７年度は最終年度となるが、二つのサブテーマとも実験が計画されており、最終の年度計画を遺漏なく遂行できるよう、十分な研究体制、予算の配分、外部資金の活用などが望まれる（所見③）。液状化対策工の効果の実証について、「現場実験で得られた間隙水圧データを再現する数値シミュレーション解析を行い、その結果に基づいて大地震時の液状化対策効果を外挿的な解析により推測することを試みる。」計画が示されている。チャレンジングな試みと思うが、実験の範囲を超えて、演繹された結果の確からしさの証明に期待する（所見④）。

- ・（五十田）限られた予算の中で、的確に研究対象を絞り込み、さらに人員の不足を補いながら社会的に極めて重要な課題に取り組んでいる。継続して研究に取り組みさらに成果の高度化を図るためにまだまだすべきことがあると考える向きもあろうが、多少不十分な点があろうとも是非ともひとつの考え方として、早期に成果、クライテリアと対策効果試験システムの試行を世に公表してほしい（所見⑤）。また、住宅、そして宅地が対象となると、個人の負担が増えることもあり、普及のための活動は、とても難しく、すんなりとは進まないことが予想される。ただ、将来、法令等に組み込む時期が来た時に速やかに制度化できるよう、継続的に取り組んでいただきたい（所見⑥）。円滑な運用のためにも、制度設計の試行を住宅メーカーと連携しつつ進めていただきたい（所見⑦）。
- ・液状化問題は地盤状況、地震外力レベル、継続時間などパラメータも複雑で難しい問題である。次年度に向けて、サブテーマ（１）では、不足する遠心実験を行い、これらの実験データに対して、地盤の液状化を考慮した数値シミュレーション（再現解析）を行い、沈下・傾斜メカニズムの解明を目指す。また、過去の震災における液状化地盤の戸建住宅の沈下・傾斜被害データに照らして、直接基礎の住宅設計が可能な宅地の液状化クライテリアの提案。また、サブテーマ（２）では、異なる液状化対策工法を対象に継続確認試験を実施し、数値解析との実際の現場との差異を確認し、液状化対策効果システムの有効性を総括するものとしている。ともに社会のニーズに適合した重要なテーマと考える。
- ・液状化対策効果を地中起振源を用いて調べる実証的な方法は有用と判断されるが、地震による振動レベルに比べて起振源による振動は微小であるため、シミュレーション等により、地震レベルの評価に繋げる合理的な評価法が開発されることを期待します。従来の液状化判定のFL値やPL値との関連についての検証も必要と思われます。本成果が適用できる液状化対策の種別・範囲を明確にしていくことも必要です（所見⑧）。

（参考）建築研究所としての対応内容

・ 所見①、②、⑤への対応（成果の普及に向けた広報等）

ご意見を踏まえ、研究成果のとりまとめにあたり、学会以外の発表機会等を積極的に活用して参りたいと考えています。

・ 所見③への対応（研究の確実な遂行）

これまで同様に、客員研究員を主としたサポート体制を維持しつつ、外部資金の活用について検討して参ります。十分な予算の配分については、管理部門に働きかけて参ります。

・ 所見④、⑧への対応（解析による大地震時の評価）

非常な難題と認識してはおりますが、可能な限りの液状化解析技術を駆使して、取り組んで参ります。従来の液状化判定との関係性や、適用できる対策工法の範囲についても整理して参ります。

・ 所見⑥、⑦への対応（制度面の拡充）

ご意見を踏まえ、ご指摘の点を意識した指定課題としての後継の研究テーマ設定を検討して参ります。

3. 評価結果

■ A 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができる。

~~□ B 研究開発課題として、目標の達成を概ね見込むことができる。~~

~~□ C 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができない。~~