

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3号

研究課題名：浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究

研究期間（元号）：平成23年-平成24年

代表者名：谷和夫（横浜国立大学・教授）

研究代表者名：谷和夫（横浜国立大学・教授）

共同研究者名：松下克也（(株) ミサワホーム総合研究所・担当部長）、橋本隆雄（(株) 千代田コンサルタント・次長）、山本彰（(株) 大林組 技術研究所・部長）、野田利弘（名古屋大学 減災連携研究センター・教授）、竹内秀克（(株) 不動テトラ・主任）、規矩大義（関東学院大学・教授）、清田隆（東京大学 生産技術研究所・准教授）、大林淳（(株) 不動テトラ・部長）

補助金交付総額（円）：19,100,000円

研究・技術開発の目的：

2011年東北地方太平洋沖地震において地盤の液状化により被災した数多くの戸建て住宅の復旧は遅れている。その主な理由は、建物の沈下・傾斜を修正しただけでは、余震や近い将来に発生が予想される大地震により同様の被害を再び受ける可能性があるからである。沈下・傾斜の修正と同時に液状化対策も施す復旧が望ましいが、現状の建築基礎構造設計指針等で規定されている設計概念に基づく対策（液状化層の全層改良）では非常に高いコストとなる。例えば、適用の可能性がある静的締固め工法や薬液注入工法を施工した場合、厚さが10mの液状化層を全層改良すると1戸あたりの施工費が1,000万円以上となり、住民負担の限度を超えている。

一方、既往の被災事例の分析によれば、表層に非液状化層が数メートル存在すれば、深部の地盤が液状化したとしても地表構造物の被災の程度は著しく小さいことが知られている。そこで、液状化層の浅部のみ（全層厚でなく）を改良する浅層盤状改良工法に注目し、戸建て住宅の宅地を対象とした経済的な液状化対策として開発することを研究の目的とした。

具体的な研究開発の目標は以下の3点である。

- ① 戸建て住宅の宅地として液状化対策を施した地盤に対する要求性能（例えば傾斜や沈下量等）を明確にする。
- ② 浅層盤状改良による液状化対策の効果を確認し、そのメカニズムを解明する。また、さまざまな要因（改良厚さ、改良幅、改良工法や隣接建屋との離間）が浅層盤状改良の効果（基礎の傾斜やめり込み沈下量等）に及ぼす影響を明らかにし、設計方法の確立に資する知見を蓄積する。
- ③ 既設及び新設の戸建て住宅の液状化対策としての浅層盤状改良工法の経済性を評価して、施工条件に応じて適切な浅層盤状改良の工法を明らかにする。

研究・技術開発の内容と成果：

液状化対策として浅層盤状改良工法を開発するために以下に示す5つのテ

ーマについて研究を行い、以下の結論を得た。

(1) 液状化に対する戸建て住宅の性能評価

宅地の液状化対策において考慮する戸建て住宅の要求性能を明らかにするため、文献調査と被災事例調査を行った。調査の結果、基礎の傾斜について、日本建築学会の基準の限界値 6~8/1,000、居住者の健康障害（めまい・頭痛）の閾値 10/1,000、被災家屋の修復実績の閾値 6~8/1,000 が示された。さらに、罹災証明の被災度判定及び地震保険の損壊基準（半壊・半損が 10/1,000 程度、大規模半壊・全損が 16.7/1,000 程度）を考慮して、戸建て住宅の要求性能のクライテリア（基礎の最大傾斜角）を提案した。

- ① 中地震動：10/1,000 を超えない（有害な沈下変形を許容しない）
- ② 大地震動：16.7/1,000 を超えない（ある程度の損傷は許容し、修復を容易にする）

(2) 戸建て住宅の液状化による被災事例の調査

表層の非液状化層による液状化被害の軽減効果を明らかにするため、被災事例の文献調査・現地調査・アンケート調査及び航空レーザー測量による道路の変状調査を実施した。その結果、地下水位が低いことや表層の非液状化層の存在が、液状化による被害の軽減に大きく寄与することが示された。また、被災事例の調査結果に基づいて、上記(1)で提案した基礎の最大傾斜角の基準値に対応する基礎のめり込み沈下量のクライテリアを設定した。

- ① 中地震動：10 cm を超えない
- ② 大地震動：15 cm を超えない

(3) 遠心模型実験による浅層盤状改良工法の効果の検討

戸建て住宅に対する浅層盤状改良工法の効果の確認と、下記(4)の数値解析の妥当性の検証に供することを目的として、遠心模型実験を実施した。厚さが 10 m の緩い砂層（地下水位 GL-1.0 m）を想定して、固化による改良の厚さを 0.0（無改良）、1.5、3.0、4.5 m と変えた。実験の結果、最大入力加速度が 150 Gal 程度の地震動 1（浦安市で観測された地震動に相当）に対しては、改良厚さの増大に伴い沈下の抑制効果が大きく、改良厚さが 1.5 m でも建屋の総沈下量とめり込み沈下量が無改良のケースの数分の 1 にまで低減された。なお、地震動 1 の加速度レベルを 2 倍とした地震動 2 に対しては、すべてのケースで激しい液状化が発生し、建屋の総沈下量もめり込み沈下量も大幅に増加し、改良厚さの影響は顕著ではなかった。

(4) 数値解析による浅層盤状改良工法の効果の検討

動的有効応力解析 GEOASIA と静的全応力解析 ALID を用いた有限要素法により、さまざまな要因（改良厚さ、改良幅、改良工法や隣接建屋との離間）が浅層盤状改良の効果（基礎の傾斜やめり込み沈下量）に及ぼす影響を検討した。対象とした地盤モデルと地震動は上記(3)の遠心模型実験と同様とした。解析の結果、固化工法を用いた場合には改良厚さが 3 m 程度であれば地震動 1 に対してめり込み沈下量が 10 cm 程度以下に抑えられるが、締固め工法や排水工法を用いた場合には改良効果がやや低下することが分かった。また、改良厚さだけでなく、改良幅や隣接建屋との離間の影響も大きいことが明らかとなった。

(5) 戸建て住宅を対象とした浅層盤状改良工法の経済性評価

実績が多く設計手法が確立している 3 つの改良原理（固化・締固め・排水）による液状化対策の各工法を抽出し、代表的なケース（地盤条件や施工条件等）を設定して相対的な工費を試算した。その結果、従来の方法（全層改良）と比較して、改良厚さを 3 m 程度に抑えた浅層盤状改良工法では 30~50% のコストの低減が可能となることを示した。また、1 戸当たりの工費は、施工方法と

改良厚さだけでなく、施工面積や既設／新設にも大きく依存し、その傾向は施工方法によって異なることも明らかとなった。

研究成果の刊行に関する一覧表：

- ① 樋口俊一・西山高士・山本彰：軽量な構造物直下の固化系地盤改良による液状化変状抑止効果－その 1－、第 67 回年次学術講演会講演集、Ⅲ-196、pp.391-392、2012 年 9 月。
- ② 山本彰・樋口俊一・西山高士：軽量な構造物直下の固化系地盤改良による液状化変状抑止効果－その 2－、第 67 回年次学術講演会講演集、Ⅲ-197、pp.393-394、2012 年 9 月。
- ③ 浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会：浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究、地盤工学会、2012 年 9 月。

研究成果による知的財産権の出願・取得状況：

なし。

成果の実用化の見通し：

厚さが 10 m の液状化層について液状化対策を実施する場合、中程度の地震動に対して住宅基礎の傾斜を 10/1,000 未満に抑えるための浅層盤状改良は、改良厚さ 3 m 程度となり、従来の全層改良に比べて 30～50%という大幅なコスト低減が可能となることを示した。既設住宅で施工範囲が狭い場合には経済性は十分とは言えないかもしれないが、新設住宅や施工範囲が広い場合には経済的に実現可能と思われる。

今後は、さらなるコストダウンのために、狭い敷地にも適用可能な施工機械の開発や、複数の改良原理（固化・締固め・排水）を組み合わせた合理的かつより経済的な浅層盤状改良工法の開発が望まれる。

その他：

この研究の実施に当たっては、公益社団法人地盤工学会内に産官学の合計 23 名の委員からなる「浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会（委員長：谷 和夫）」を設置し、研究の遂行に対して有益な情報と適切な助言を幅広く収集した。また、2011 年東北地方太平洋沖地震において地盤の液状化により深刻な宅地被害を受けた千葉県香取市と茨城県神栖市において、講演会（（公社）地盤工学会主催）を開催して研究の成果を市民に紹介した。

以上