

建物の液状化対策工法および その実施状況に関する調査

2018年2月

損害保険料率算出機構

はじめに

地震保険では、地震を原因とする建物・家財への損害に対して保険金が支払われ、これには地盤の液状化による損害も含まれる。2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震では、地盤の液状化が発生し、戸建て住宅をはじめとし多くの建物に傾斜や沈下等の被害が発生した。

地盤の液状化に対しては、地盤や建物の基礎に対して予め対策を講じることで被害の防止・軽減が期待できる。最近では、東北地方太平洋沖地震による液状化被害が注目されたことで、液状化対策について関心が高まっており、液状化対策に関する情報の周知や対策費用の助成といった国や自治体の取り組みも見られる。

液状化対策は防災対策として重要であるとともに、その取り組み状況や対策の普及に関する情報は地震被害想定においても重要な要素である。しかし、液状化対策が施された住宅数や対策工法別の実施件数等が整理されているものは少ない。

そこで、本調査では、液状化対策の種類やその内容を調査するとともに、建設・施工会社に対して液状化対策に関する情報提供を依頼し、それら液状化対策の実施件数や実施傾向等を把握する基礎調査を実施した。本報告書はその調査結果を取りまとめたものである。

本報告書が防災や保険等の災害にかかる分野において有益な資料となれば幸いである。

2018年2月

損害保険料率算出機構

目次

第 1 章 調査の概要	1
1.1 調査の背景・目的	1
1.2 報告書の構成	3
第 2 章 液状化対策工法の内容	5
2.1 液状化対策工法の調査方法	5
2.2 液状化対策工法の体系化および各工法の特徴	6
2.2.1 地盤の液状化の抑制	7
2.2.2 建物の傾斜・沈下の軽減	10
2.2.3 建物の傾斜・沈下の修復	13
第 3 章 液状化対策の実施状況	15
3.1 調査の概要	15
3.2 収集した事例の属性	16
3.3 調査結果	21
3.3.1 液状化判定の実施状況	22
3.3.2 採用されている液状化対策工法	31
付録 過去の地震における液状化被害	

第1章 調査の概要

1.1 調査の背景・目的

東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）や熊本地震（2016年4月14～16日）では、地盤の液状化が発生し、戸建て住宅等の建物に傾斜や沈下等の被害が発生した。また、地中に埋められていたマンホールや下水道等の構造物が浮き上がるという現象も見られた。

地盤の液状化とは、地震が発生した際に地盤が液体状になる現象^{1.1)}である。図1.1に液状化の発生原理を示す。地盤はくっついている砂等の粒同士の間を水が満たすことで安定している。液状化とは、くっついていた粒同士が地震の揺れによってバラバラになり、砂粒子が水に浮いたような状態を指す。同じ成分や同じ大きさの砂で構成させる土が地下水で満たされている場合に発生しやすいとされている。地盤が液状化すると、地盤の強度は著しく低下するため、建物に傾斜や沈下等の被害が生じる。また、地表面に砂と水が吹き出す現象や、水の比重よりも軽い下水道のマンホール等が浮き上がる現象も見られる。

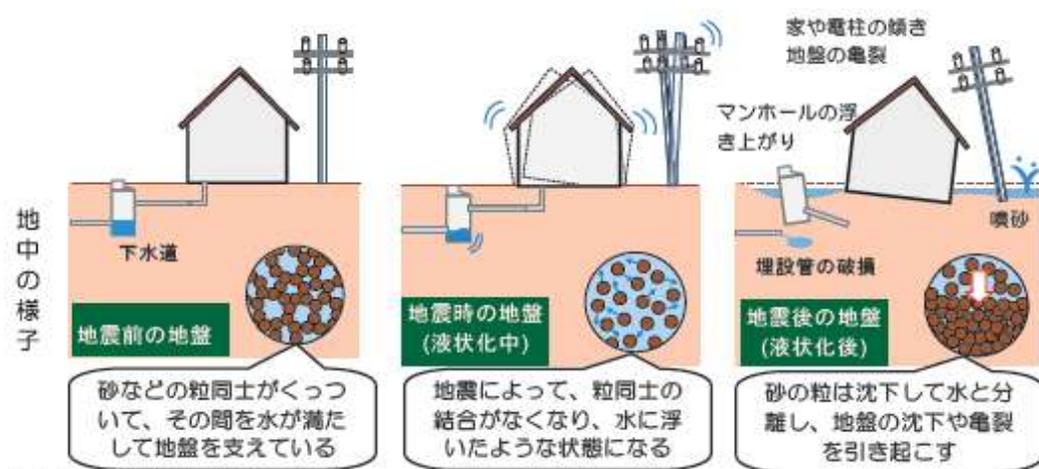


図 1.1 液状化発生の仕組み^{1.1)}

このような液状化被害への対策としては、地盤の改良、建物基礎の改良、またその前段階として、地盤を調査し、液状化の発生可能性を知るといったことが挙げられる。最近では、東北地方太平洋沖地震の液状化被害が注目されたことで、こういった液状化対策への関心が高まっており、国から情報発信される例も見られる。たとえば、国土交通省（都市局）では学識経験者による「宅地の液状化対策の推進に関する研究会」において、ボーリング調査結果と被害状況の関係を分析し、都道府県知事等に対する技術的助言として「宅地の液状化可能性判定に係る技術指針」を発出した^{1.2)}^{1.3)}。また、国土交通省北陸地方整備局は、公益社団法人地盤工学会北陸支部と共同で新潟県、石川県、富山県における過去の液状化発生状況や地形地質等に関する情報を記載したパンフレットを公表している^{1.4)}。

これらは液状化の発生可能性を知るという点に着目した取り組みであるが、地方自治体においても、たとえば以下のような液状化対策に関する取り組みが見られる。

(1) 東京都

東北地方太平洋沖地震において、都内で液状化が発生し建物被害が確認されたことを機に、2013年に調査方法から対策工法まで分かりやすく示した「液状化による建物被害に備えるための手引き」を作成・公表した^{1.1)}。加えて、液状化発生の可能性や地盤状況の把握、対策工法の選定、都民が相談できるアドバイザー制度を導入する等、自助・共助・公助の考えが住民らに円滑に浸透していく取り組みが行われている。

また、「東京における緊急輸送道路沿道の耐震化を推進する条例」を制定し、緊急輸送道路沿道の建物が地震により倒壊して緊急輸送道路を閉塞することがないように、沿道建物の地震に対する安全性の向上を図り、都民の生命および財産の保護を推進している。

(2) 千葉県浦安市^{1.5)}

東北地方太平洋沖地震で液状化による建物の傾斜・沈下等の被害が顕著であった浦安市は、当該地震により被害を受けた住宅の世帯等に対し、国からの生活再建支援金と千葉県による補助金に、罹災程度に応じた浦安市独自の補助金を上乗せして支給する補助制度を実施した（2014年度で終了）。

また、国庫補助金による復興交付金事業として、宅地と道路等の公共施設の一体的な液状化対策を行う市街地液状化対策事業、幹線道路や主要駅周辺の液状化対策事業（2016年度完了）が行われた。

(3) 東京都葛飾区^{1.6)}

東北地方太平洋沖地震で区内の一部で液状化の発生が確認された葛飾区は、東京都が公表した液状化予測において区内のほぼ全域で液状化が発生する可能性があることとされたことから、液状化判定の基本となる地盤調査に係る費用の助成を行っている。さらに、2016年10月より、液状化対策工事費用の助成が開始された。

また、建物構造に応じた耐震診断や耐震改修等の助成、地盤の液状化についての説明会・相談会が積極的に開催されており、有効な液状化対策の情報提供等、液状化への備えが住民に広く浸透するよう取り組んでいる。

液状化対策が防災上有効であることは言うまでもないが、それら対策の実施状況を把握することについても、防災対策を策定する上で重要となる被害想定的高度化という点で重要である。書籍や WEB 等から液状化対策を実施した実事例を見ることは出来るが、その液状化対策が実施された建物数や、あるいはその地域的な分布等がまとめられた資料は少ないのが現状である。

そこで、液状化対策の実施状況を把握するための足掛かりとして、建設・施工会社に対して液状化対策に関する情報提供を依頼し、液状化対策の実施件数や実施傾向等を把握する基礎調査を実施した。本報告書はその調査結果を取りまとめたものである。

1.2 報告書の構成

本報告書の構成を以下に示す。

「第1章 調査の概要」では、本調査の背景・目的を示した。

「第2章 液状化対策工法の内容」では、液状化工法の実施状況調査の一環として、まずはどのような液状化対策工法が存在するかを主に文献調査により整理した結果を示している。

「第3章 液状化対策の実施状況」では、主に住宅の設計や施工実績のある会社、または地盤改良等の工事を請け負う複数の会社に対して、自社で請け負った建物の液状化対策に関する情報の提供依頼を行い、入手した施工事例のデータを整理し液状化対策の実態について整理した結果を示している。

また、付録として、過去の地震における液状化被害状況を整理した。

第2章 液状化対策工法の内容

2.1 液状化対策工法の調査方法

東北地方太平洋沖地震以降、建物の液状化対策への関心が高まっており、新たな液状化対策工法の開発も考えられる。

本章では、液状化対策工法の実施状況を調査するにあたり、種々の液状化対策工法の特徴をまとめるとともに、施工方法や内容を踏まえて液状化対策工法を体系的に整理した。調査方法は液状化対策に関する種々の文献調査^{2.1) ~2.13)}を基本とし、必要に応じて関連する企業へ施工実態等に関するヒアリング等で記載内容を補った。最新の液状化対策工法も把握できるよう、東北地方太平洋沖地震後の文献も調査対象に含めた。

2.2 液状化対策工法の体系化および各工法の特徴

各文献における液状化対策の分類方法を参考にすると、液状化対策の考え方は表 2.1 に示す 3 つに分類される。1 つ目の「地盤の液状化の抑制」(2.2.1 節参照) および 2 つ目の「建物の傾斜・沈下の軽減」(2.2.2 節参照) は地震被害を受ける前に対策する工法である。3 つ目の「建物の傾斜・沈下の修復」(2.2.3 節参照) は、液状化被害を受けた後に修復する工法である。液状化被害の防止・軽減という液状化対策の趣旨とは異なるが、特に戸建て住宅において特徴的な工法であるため、今回の調査では対策のひとつとして整理した。

2.2.1～2.2.3 節に各分類の液状化対策工法について記載する。

表 2.1 液状化対策工法の分類

液状化対策の考え方	対策の方法	液状化対策工法
地盤の液状化の抑制 (2.2.1 節)	密度の増加	密度増大工法
	地盤の不飽和化	空気注入工法
	間隙水圧の消散	ドレーン工法
	地盤変形の抑制	囲い込み工法
	有効応力の増加	地下水低下工法 盛土工法
建物の傾斜・沈下の軽減 (2.2.2 節)	支持力の確保・増強	杭工法
		深層混合処理工法
		浅層混合処理工法
		注入工法
		置換工法
	基礎剛性の増強	基礎形式をべた基礎とする方法
	傾斜の抑制	浮き基礎工法
浮き上がり防止用杭等の活用		
水圧上昇の抑止工法		
建物の傾斜・沈下の修復 (2.2.3 節)	傾斜・沈下を修復	ポイントジャッキ工法
		耐圧版工法
		鋼管圧入工法
		注入工法
		傾斜修正機構を事前に組み込む方法

2.2.1 地盤の液状化の抑制

地盤の液状化の抑制とは、建物下部の地盤あるいは敷地地盤の液状化発生そのものを抑える方法である。当該工法については、地盤の液状化発生を抑制するための原理、具体的には表 2.1 のとおり、密度の増加、地盤の不飽和化、間隙水圧の消散、せん断変形の抑制、有効応力の増加に分類した。

(1) 密度増大工法

密度増大工法とは、地盤を締め固めることにより地盤の密度を増大させ液状化の発生を抑制する工法である。締め固める方法としては、表 2.2 に示すとおり、砂やモルタルを地盤に注入する方法や丸太等の木材といった柱状の部材を地面に圧入する方法がある。土木施設で施工実績が多い。大型機械による施工が基本となるが、最近では、住宅等、建築分野向けの工法が開発されている。また、施工管理および品質管理方法については概ね確立しているようである。ただし、木杭を使用し、これに支持力性能を期待する工法の場合は、建築基準法における諸規程への適合性確認が必要となる。

なお、新築建物への個別対応が基本となり、施工後の維持管理は基本的には不要である。改良ピッチを密にすることにより、中規模地震や大規模地震にも対応出来る可能性がある。

表 2.2 密度増大工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、 施工機材	施工概要	既存建物への 適用可能性
砂、碎石、リサイクル材	砂等を地盤中に静的に回転圧入することにより締め固める。サンドコンパクションパイル工法と呼ばれる。ケーシングパイプを用いて改良材の打ち戻しを行う方法や、柱状改良体はコンクリートにより築造し建物荷重等を負担する方法もある。	適用不可
流動化砂	小型施工機により静的に締め固める。サンドコンパクションパイル工法のひとつとして分類されるが、斜め施工により既存建物にも適用できる可能性がある。	斜め施工ができるため適用できる可能性がある。
モルタル	地盤中にスクリーロッドを回転圧入し、引き上げ時にドライモルタルを投入し改良体を築造する。静的締め固め工法と呼ばれる。	適用不可
木材	小型施工機により丸太を地盤中に圧入させる。静的圧入工法と呼ばれる。	適用不可
鋼製棒	鋼製の棒を地中に打ち込み、振動や衝撃を加えることにより地盤を締め固める。排水と併用することもある。ロッドコンパクション工法と呼ばれる。	適用不可
振動機	棒状の振動機を水の噴射と振動によって貫入し、水締めと振動により砂地盤を締め固めるとともに、生じた空隙に砂利等を充填して地盤を改良する。パイプロフローテーション工法と呼ばれる。	適用不可
重錘	鋼やコンクリート製の重錘をクレーンを用いて高所から落下させ地盤を締め固める。重錘落下締め固め工法と呼ばれる。	適用不可

(2) 空気注入工法

空気注入工法とは、表 2.3 に示すような地盤内に微細な気泡を含んだ水を注入することにより、地盤を不飽和化させる工法である。地盤が不飽和状態になると地震時の間隙水圧の上昇が抑制され、液状化が抑制される。文献調査では実物件の施工事例は見つけられなかったが、水や空気を使用し、既存建物にも対応出来る可能性があり、近年開発が進んでいる。実用化されれば、建築分野における適用性は高いと考えられる。ただし、施工後に地盤中における水や空気の溶存状態を確認する必要がある。

表 2.3 空気注入工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、 施工機材	施工概要	既存建物への 適用可能性
マイクロバブル水	直径が数マイクロメートルの微細気泡を含んだ水を地盤中に注入することにより、地盤を不飽和化させ、液状化による被害を抑制する。	可能
空気	地盤中に空気を注入することにより、地盤を不飽和化させ、液状化による被害を抑制する。	可能

(3) ドレーン工法

液状化は地震の揺れにより地盤中の水圧（間隙水圧）が上昇することで発生する。ドレーン工法は、表 2.4 に示すようなドレーン材を地盤に配置することによって、水圧の上昇を抑制する工法である。土木分野において実績が多い工法である。密度増大工法や囲い込み工法等と併用することで液状化抑止効果が増す等の幅広い使い方が期待できる。

建築分野において使用するためには、施工管理方法および設計方法（改良ピッチの設定方法等）を確立させる必要があると考えられる。

表 2.4 ドレーン工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、 施工機材	施工概要	既存建物への 適用可能性
砕石	砕石を柱状に築造し、その周辺地盤の過剰間隙水圧の上昇を抑制する。	適用不可
人工ドレーン材	通水方向にスパイラルパイプ状の空洞部を有した排水材により水圧消散効果を期待する。	外周部に設置することで効果が期待出来る可能性がある。

(4) 囲い込み工法

囲い込み工法とは、表 2.5 に示すような柱状の地盤改良体や鋼製の板等で地盤を格子状等の形状で囲って地盤変形を抑制することで地盤の液状化を防ぐ工法である。施工された建物が兵庫県南部地震を経験する等、建築分野においては比較的古くから実績がある。大型施設への採用が主であったが、最近では、小型機械による施工技術が開発され、戸建て

住宅等への適用性も広がりつつある。また、小型の機械を使ったスラリーの高圧噴射による工法は既存建物の下部地盤や既存建物間の敷地境界部分における施工が可能であり建築分野における適用性が高い。

表 2.5 囲い込み工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、 施工機材	施工概要	既存建物への 適用可能性
セメント	柱状地盤改良体を格子状に設置することで、地盤のせん断変形を抑制し、液状化の発生を防ぐ。	可能
	セメント系固化剤を水と混ぜたスラリーと呼ばれる泥状物と圧縮空気を専用ロッドにより高圧噴射し原地盤と攪拌し、柱状あるいは格子状等の地盤改良体を築造する。	適用できる可能性がある。
鋼矢板	薄い鋼矢板を地盤中に圧入し、壁状に囲い込む。	適用不可

(5) 地下水低下工法

地下水位低下工法とは、地下水位を低下させることで地盤内の水圧を低下、すなわち地盤の有効応力を増加させることにより地盤の液状化発生を抑制する工法である。既存の住宅地を広域的に液状化対策することが可能である。排水ポンプ等を用いて地下水位の高さを強制的に低下させ、地表面下の地盤を非液状化層とするディープウェル工法と呼ばれる工法があり、既存住宅にも適用可能である。

一方で、この工法には周辺施設への沈下障害や、維持管理費等の課題がある。また、実施にあたっては、当該地域住民や自治体との合意形成が必要であり、検討段階で採用が見送られる場合もある。

(6) 盛土工法

盛土工法とは、盛土の自重により地盤を加圧させ地表面地盤の有効応力を増加させることで地盤の液状化発生を抑制する工法である。建物を建設するために地盤を形成する工法であり、既存建物への適用は出来ない。種々の地震被害報告書において、多くの戸建て住宅にて採用されているとの記録があるが、液状化対策として盛土されていたかどうかは不明である。

2.2.2 建物の傾斜・沈下の軽減

建物の傾斜・沈下の軽減とは、地盤の液状化は許容するが、建物の支持力を確保することで地盤の液状化により生じる建物の傾斜・沈下の被害の軽減を図る方法である。

(1) 杭工法

杭工法とは、地盤に表 2.6 に示すような杭上の部材を埋設して建物を支える支持力を確保することで傾斜や沈下を抑制する工法である。杭工法は、液状化対策というよりも建物の支持力を確保するために採用される場合が多い。建築分野における施工実績が多く、建築基準法への適合性が確認された材料が使用されることから施工管理が確立されている。

新築建物への個別対応が基本となり、施工後の維持管理は不要である。杭本数や断面諸元を考慮することにより、中規模地震や大規模地震にも対応出来る可能性がある。

なお、杭先端以深に液状化層を残さない場合（いわゆる支持杭とする場合）において建物被害はほとんど報告されていないが、杭先端部が液状化層あるいは杭先端以深に液状化層が存在する場合（いわゆる摩擦杭とする場合）には、建物が液状化被害を受ける可能性がある。杭工法は地盤の液状化の発生を抑制できないため、杭により建物の支持力を確保した場合であっても地盤の液状化により建物基礎周りが沈下し段差が発生する場合もある。

表 2.6 杭工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、 施工機材	施工概要	既存建物への 適用可能性
鋼管	羽根付き杭を回転貫入により地盤中に埋設する。	適用不可
木杭	加振により木杭を圧入する。	適用不可

(2) 深層混合処理工法

深層混合処理工法とは、現地土と表 2.7 に示すような固化材を混合攪拌して地盤中に改良体を築造し支持力を確保する工法である。改良体が柱状であるため柱状地盤改良工法とも呼ばれる。改良体を築造するにあたっては、改良体の強度や間隔、施工深さなどを決める必要がある。建築分野、特に戸建て住宅への施工実績が多い。建築基準法に定められている設計基準強度を確保するためには、建築分野における設計・品質管理に関する指針類に従い対応することが重要である。新築建物への個別対応が基本となり、施工後の維持管理は不要である。

表 2.7 深層混合処理工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、 施工機材	施工概要	既存建物への 適用可能性
セメントおよびセメント系 固化材	スラリーと原地盤を専用ロッドを用いて攪拌し、柱状地盤改良体を築造する。改良体の心材に羽根付き鋼管杭を設置する方法もある。	適用不可
セメント系固 化材	セメントスラリーを注入し、トレンチャーで上下方向に混合攪拌する。	適用不可
セメント	掘削ロッドを地盤に貫入させ、押し上げにより築造した孔壁にセメントミルクを注入し改良体を築造する。	適用不可
セメント系固 化材	スラリーと圧縮空気を専用ロッドにより高圧噴射し原地盤と攪拌し、楕円形または柱状の地盤改良体を築造する。	可能

(3) 浅層混合処理工法

浅層混合処理工法とは、重機を使って軟弱な表層地盤を掘削し、支持力確保のためにセメント系固化材と混合攪拌した上で埋め戻す工法である。建築分野、特に戸建て住宅への施工実績が多い。戸建て住宅においては、改良体の強度が低いため品質確認のための試料採取が困難であることや強度発現までに日数を要する等の課題がある。新築建物への個別対応が基本となり、施工後の維持管理は不要である。

(4) 注工法

注工法とは、地盤に薬液等を注入することで支持力を確保する工法である。近年、土木分野で採用されつつある工法であり、注入孔の位置を検知しながら掘削・注入ができると言われている。出来型（改良体の形状と強度）の確認が課題であるが、既存建物への適用性は高いものと考えられる。注入材としては、シリカ系注入材や極超微粒子セメント等が使われることが多い。

(5) 置換工法

置換工法とは、軟弱な表層地盤を支持力確保が可能な地盤に置換する工法である。置換する材料としては、表 2.8 に示すようなコンクリートブロックや砕石等が挙げられる。建築分野、特に戸建て住宅への施工実績が多い工法である。現地土を使用する浅層混合処理工法に比べて、諸元が明らかな材料により置換するため安定した品質確保が可能であると考えられる。ただし、浅層混合処理工法と同様に、置換（あるいは改良）した深度よりも深い位置に液状化層が残る場合には、支持力確保が難しく、適用条件が限定的である。

表 2.8 置換工法における使用材料等による施工方法の違い

主な使用材料、施工機材	施工概要	既存建物への適用可能性
コマ型コンクリートブロック	軟弱地盤をコンクリートブロックに置き換える。	適用不可
砕石	軟弱地盤を砕石に置き換える。	適用不可
軽量土、ジオグリッド	表層地盤を軽量土に置き換え、かつジオグリッドを敷設し沈下や段差の発生を抑制する。	適用不可

(6) 基礎形式をべた基礎とする方法

べた基礎は布基礎に比べて基礎の剛性が高いことを利用し、建物の局所的な沈下や傾斜を抑制する工法である。種々の地震被害報告書において、多くの戸建て住宅にて採用されているとの記録がある。また、文献^{2.6)}においては、基礎の剛性を高めることによって、建物のへの字型の変形等の被害を防止し、建物が一体傾斜した場合でも、その復旧を可能にしようとするものであるとの記載がある。

(7) 浮き基礎工法

浮き基礎工法とは、地震時に建物基礎に作用する浮力と、建物自重との釣り合いを考慮することで、地盤が液状化した場合の建物の傾斜や沈下を抑制することを目的とする工法である。建築分野の小規模な建物にて施工実績が多い。置換工法と同様に諸元が明らかな材料により置換するため安定した品質確保が可能であると考えられる。また、置換した範囲よりも深い位置で地盤の液状化が発生した場合においては、置換した EPS 材 (expanded polystyrene の略で発泡スチロールのような材料) 等の軽量材部分に浮力が作用することにより、建物の傾斜や沈下を抑制できる可能性がある。

(8) 浮き上がり防止用杭等の活用

堅固な地盤に杭や矢板を支持させることで、建物の傾斜を抑制する工法である。地下階を有する構造物や地中構造物で活用されている可能性がある工法である。

(9) 水圧上昇の抑止工法

水圧上昇の抑止工法とは、水圧上昇を抑える目的で基礎下を含む近傍地盤を礫材に置換し建物の傾斜を抑制する工法である。既存建築物の場合は、基礎周囲の地盤を地盤改良体により囲いその上部を礫材に置換する。囲い込み工法との組み合わせで使われることがある。近年、既存建物の付帯設備等で採用されつつある。

2.2.3 建物の傾斜・沈下の修復

液状化により傾斜や沈下した建物を修復する工法である。この場合、地盤の液状化も、建物の傾斜・沈下も許容することになる。戸建て住宅等、建築基準法第6条第1項4号に該当する場合の対応方法として挙げられている。最近では、主に戸建て住宅において、建物が傾斜した場合に簡易に修復できるよう新築時に予め修正機構を施すといった工法も見られる。以下(1)～(5)に示す各工法は、いずれも主に戸建て住宅等の小規模な建物を対象とした工法である。

(1) ポイントジャッキ工法

ポイントジャッキ工法とは、建物が傾斜・沈下した場合に、土台下にジャッキを挿入し傾斜・沈下を修正する工法である。比較的、安価に対応できるが、基礎の一部を斫る必要がある等の課題もある。

(2) 耐圧版工法

耐圧版工法とは、液状化により傾斜・沈下した建物の基礎下の地盤を掘削し、築造した耐圧版を反力にしてジャッキアップにより建物を基礎から持ち上げる工法である。基礎から持ち上げるため、修復時における土台や基礎への影響はポイントジャッキ工法と比べて少ないと考えられる。

(3) 鋼管圧入工法

鋼管圧入工法とは、基礎下の地盤を掘削して1m程度の鋼管を地盤中に圧入し、この鋼管を反力にしてジャッキアップにより建物を基礎から持ち上げる。アンダーピニング工法とも言われている。圧入した鋼管を反力にして建物を基礎下から持ち上げることができるが、施工スペースや費用に制約がある。

(4) 注入工法

工法自体は2.2.2(4)の注入工法と同じであるが、基礎下への薬液等の注入により傾斜・沈下した建物を修復する目的で使われることがある。薬液のほかにウレタンやグラウト(空隙を埋めるための液体)等も使用される。安価で対応可能であるが、注入剤固化後の強度や持ち上げ量(建物の傾斜量)を管理することが難しい。

(5) 傾斜修正機構を事前に組み込む方法

傾斜修正機構を事前に組み込む方法とは、住宅の基礎部分に特殊なアンカーボルトを予め施しておくことで、液状化により建物が傾いた場合にアンカーボルトを利用して建物を土台から持ち上げることで傾斜・沈下を修復する方法である。戸建て住宅への適用工法として、近年、開発された工法である。本工法は、事後の対応を省力化することために、最小限の準備を事前に施すという考え方に基づく。

第3章 液状化対策の実施状況

本章では、液状化対策工法の施工状況の実態調査を目的として実施した建設・施工会社を対象とした液状化対策に関するヒアリング調査の結果を示す。

3.1 調査の概要

調査は2016年6月～2016年11月の期間で実施した。まず、主に住宅の設計や施工実績のある会社や地盤改良等の工事を請け負う会社（以下、施工会社）に対して、過去に請け負った物件に関する情報（表3.1）の提供依頼を行った。協力可能な施工会社に対しては、エクセル形式の調査票を送付し、各施工会社のデータベースまたは設計図書等から読み取ることが可能な情報の記入を依頼した。施工会社からデータベースを貸与された場合は、そのデータベースから表3.1に示す情報への読み替えを行った。また、前章で調査対象とした文献から把握できた個々の物件に関する情報も含めた。

なお、確認が困難なため途中で収集を断念した情報（建築確認や耐震診断の実施状況等）については表3.1には記載していない。今回の調査では、住宅のほか学校や商業施設等も含めて100,344棟の施工事例を収集した。

表3.1 収集情報一覧

収集情報		備考
立地に関する情報	建物の所在	
建物に関する情報	建物の用途	住宅や学校等
	建物の規模	階数等
	建築面積	
	建物構造	木造や鉄骨造等
	建築年	
液状化対策に関する情報	液状化判定の実施有無およびその結果	施工前に地盤の液状化発生の可能性を判定したか
	液状化対策の有無	液状化対策がされているか
	液状化対策の内容	どのような液状化対策がされているか

3.2 収集した事例の属性

収集した事例を整理するにあたり、まずは収集した事例の概観を示す。具体的には、収集した事例を建物の用途や建物構造、所在地といった基本的な属性別に整理した。

(1) 建物の用途

表 3.2 に建物の用途別に整理した結果、図 3.1 に建物の用途別の構成割合を示す。「その他」は事務所ビルや学校等、戸建て住宅および共同住宅以外の建物を指す。今回の調査では、収集した事例のうち戸建て住宅と共同住宅が 95%以上を占める。

表 3.2 建物の用途別の事例数

建物の用途	収集した事例数（棟）	構成割合（%）
戸建て住宅	72,277	72.0%
共同住宅	23,738	23.7%
その他	1,101	1.1%
不明	3,228	3.2%
合計	100,344	100.00%

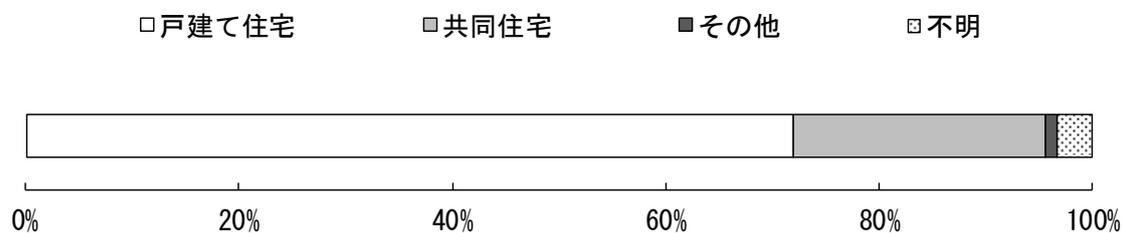


図 3.1 建物の用途別の構成割合

(2) 建物構造

表 3.3 に建物構造別に整理した結果、図 3.2 に建物構造別の構成割合を示す。S 造は鉄骨造、RC 造は鉄筋コンクリート造を示す。なお、鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC 造）は件数が少なかったため、本調査では RC 造に含めている。

表 3.3 建物構造別の事例数

建物構造	収集した事例数（棟）	構成割合（％）
木造	22,861	22.8%
S 造	76,963	76.7%
RC 造（注）	319	0.3%
不明	201	0.2%
合計	100,344	100.00%

（注）SRC 造を含む

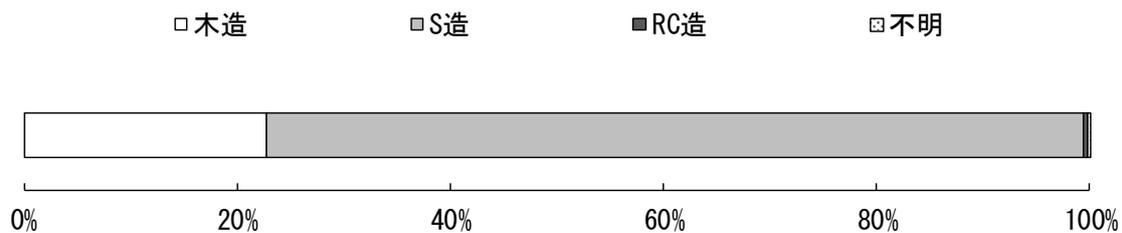


図 3.2 建物構造別の構成割合

(3) 都道府県

表 3.4 に都道府県別に整理した結果、図 3.3 に都道府県別の構成割合を示す。東京都、神奈川県、愛知県、大阪府、福岡県といった大都市圏の事例が多く、沖縄県を除く 46 都道府県で 300 件以上の施工事例を収集した。

表 3.4 都道府県別の事例数

都道府県	収集した 事例数 (棟)	構成割合 (%)	都道府県	収集した 事例数 (棟)	構成割合 (%)
北海道	396	0.39%	滋賀県	1,796	1.79%
青森県	419	0.42%	京都府	1,972	1.97%
岩手県	910	0.91%	大阪府	4,931	4.91%
宮城県	3,899	3.89%	兵庫県	4,823	4.81%
秋田県	527	0.53%	奈良県	1,202	1.20%
山形県	569	0.57%	和歌山県	874	0.87%
福島県	3,074	3.06%	鳥取県	332	0.33%
茨城県	3,346	3.33%	島根県	375	0.37%
栃木県	2,731	2.72%	岡山県	2,719	2.71%
群馬県	2,233	2.23%	広島県	2,740	2.73%
埼玉県	7,235	7.21%	山口県	1,975	1.97%
千葉県	5,185	5.17%	徳島県	532	0.53%
東京都	7,573	7.55%	香川県	1,024	1.02%
神奈川県	7,687	7.66%	愛媛県	1,179	1.17%
新潟県	1,077	1.07%	高知県	724	0.72%
富山県	427	0.43%	福岡県	3,332	3.32%
石川県	565	0.56%	佐賀県	655	0.65%
福井県	477	0.48%	長崎県	713	0.71%
山梨県	996	0.99%	熊本県	791	0.79%
長野県	1,739	1.73%	大分県	980	0.98%
岐阜県	1,759	1.75%	宮崎県	456	0.45%
静岡県	3,876	3.86%	鹿児島県	612	0.61%
愛知県	6,853	6.83%	沖縄県	0	0.00%
三重県	2,052	2.04%	不明	2	0.00%
			合計	100,344	100.00%

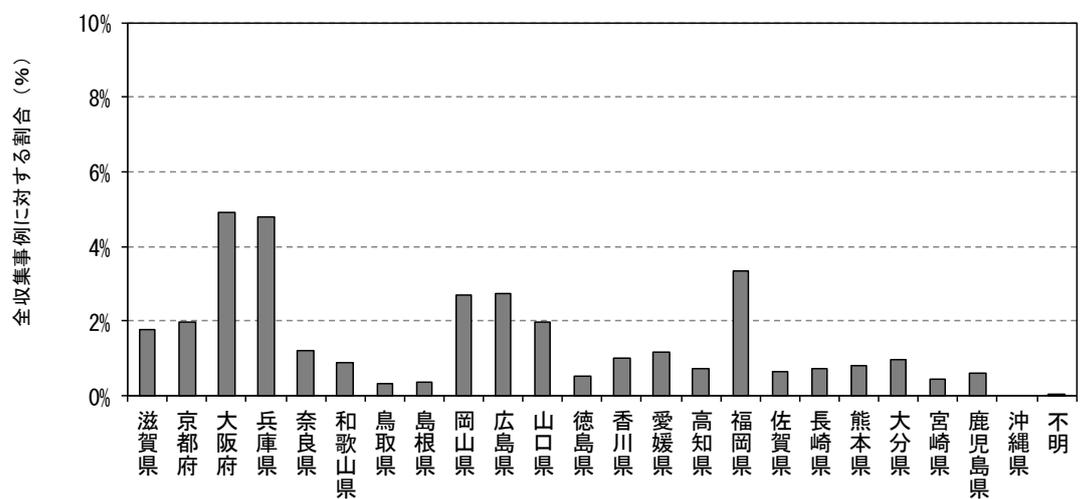
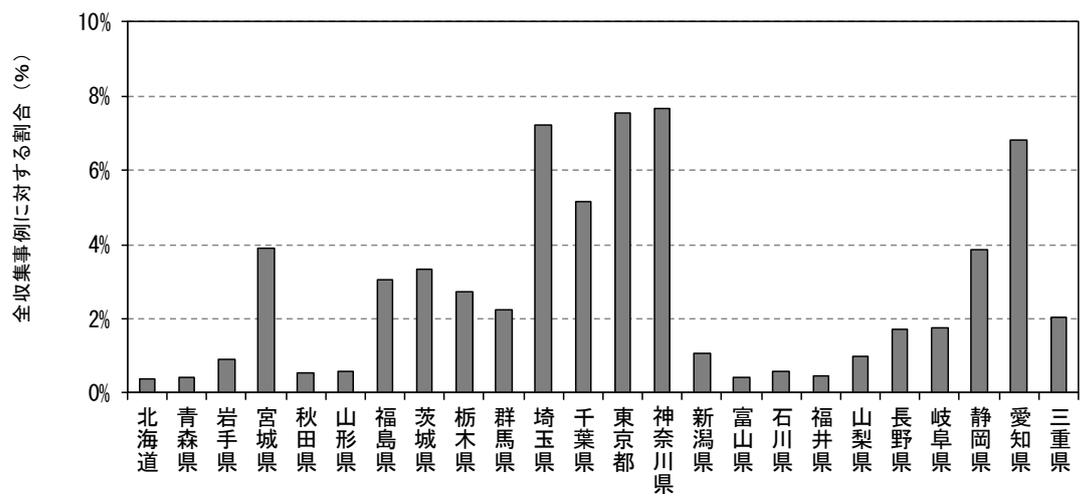


図 3.3 都道府県別の構成割合

(4) 建築年

表 3.5 に建築年別に整理した結果、図 3.4 に建築年別の構成割合を示す。建築年が 2010 年以前の物件については、設計図書等の物件情報が廃棄されている場合が多く、加えて情報の確認に時間を要することから、2011 年以降の事例を優先して確認することとしたため、今回の調査においては事例数が極めて少ない。また、2016 年の事例に関して、今回収集した中には熊本地震以降の事例は含まれていない。

表 3.5 建築年別の事例数

建築年	収集した事例数（棟）	構成割合（％）
2010 年以前	374	0.37%
2011 年	16,395	16.34%
2012 年	19,350	19.28%
2013 年	21,114	21.04%
2014 年	19,068	19.00%
2015 年	16,865	16.81%
2016 年	7,119	7.09%
不明	59	0.06%
合計	100,344	100.00%

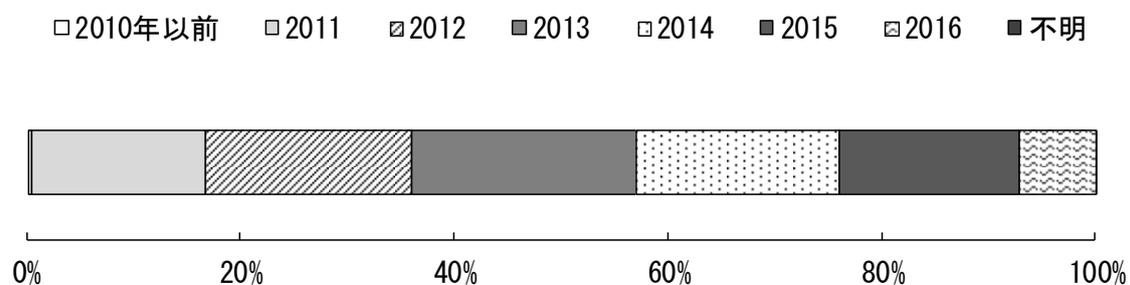


図 3.4 建築年別の構成割合

3.3 調査結果

本節では収集した事例を液状化対策の観点で整理した結果を示す。3.3.1節には液状化判定の実施状況、3.3.2節には採用されている液状化対策工法をそれぞれ表3.6に示す属性別に整理した。なお、建物階数別の整理に関しては、戸建て住宅および共同住宅それぞれについて整理している。

表 3.6 収集事例の整理結果一覧

調査項目 属性	液状化判定の実施状況 (3.3.1節)	採用されている液状化対策工法 (3.3.2節)
建物の用途	表 3.7	表 3.15
建物構造	表 3.8	表 3.17
都道府県	表 3.9	表 3.19
建築年	表 3.10	表 3.21
建物階数	表 3.11 (戸建て住宅) 表 3.12 (共同住宅)	表 3.23 (戸建て住宅) 表 3.25 (共同住宅)
微地形区分	表 3.13	表 3.27

3.3.1 液状化判定の実施状況

液状化判定は、地盤の液状化発生の可能性を調査する目的で施工前に実施されるが、建築基準法において義務付けられているものではない。液状化判定を行う場合として、たとえば杭の支持力を算定する場合が挙げられる。杭の支持力の算定は平成13年国土交通省告示1113号に従うが、そこでは液状化のおそれのある地盤を除くこととされているため、算定に必要な発生可能性を調査する目的で液状化判定を実施することが考えられる。

(1) 建物の用途

表3.7に建物の用途別に液状化判定実施の有無を集計した結果、図3.5に建物の用途別の液状化判定実施割合を示す。なお、液状化判定の実施状況が不明な事例は除いている。いずれの用途においても液状化判定実施割合は70~80%であり、建物の用途別の違いは見られない。本調査では、液状化判定の実施有無の理由までは収集していないので分からないが、たとえば地形的特徴により液状化危険度が明らかであるため液状化判定を実施していない場合や既存データの流用等が考えられる。

表3.7 建物の用途別の液状化判定実施状況（単位：棟）

液状化判定 建物の用途	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
戸建て住宅	22,471	9,243	31,714	70.9%
共同住宅	9,189	2,570	11,759	78.1%
その他	560	212	772	72.5%
不明	971	301	1,272	76.3%
合計	33,191	12,326	45,517	72.9%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

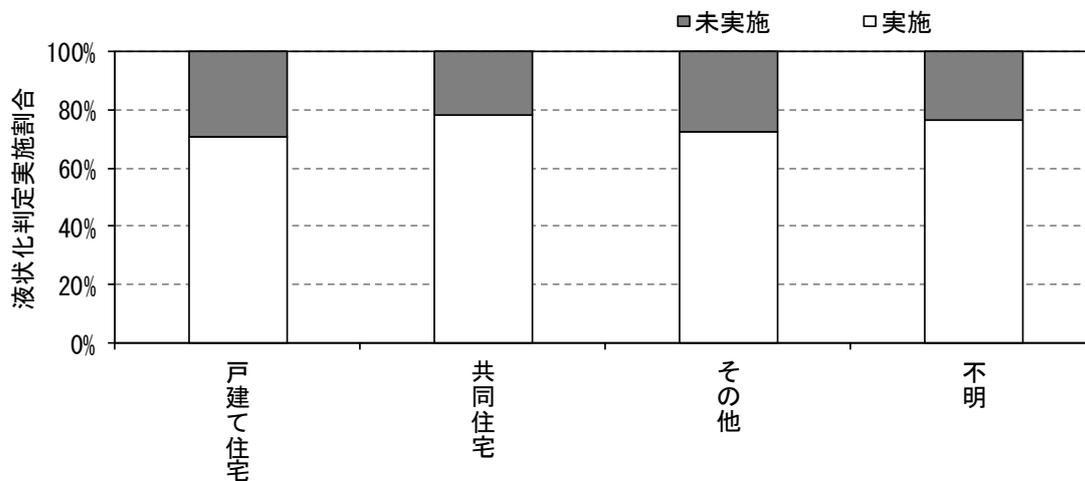


図3.5 建物の用途別の液状化判定実施割合

(2) 建物構造

表 3.8 に建物構造別に液状化判定実施の有無を集計した結果、図 3.6 に建物構造別の液状化判定実施割合を示す。各構造ともに液状化判定の実施率は 70%前後であり、建物構造別に大きな差は見られない。

表 3.8 建物構造別の液状化判定実施状況（単位：棟）

液状化判定 建物構造	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
木造	7,440	3,203	10,643	69.9%
S造	25,478	8,990	34,468	73.9%
RC造（注）	189	108	297	63.6%
不明	84	25	109	77.1%
合計	33,191	12,326	45,517	72.9%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

（注）SRC造を含む

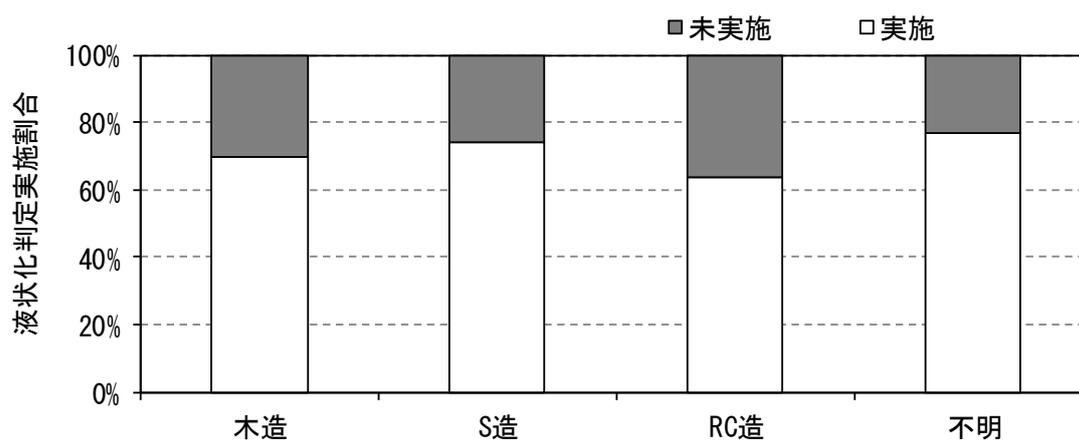


図 3.6 建物構造別の液状化判定実施割合

(3) 都道府県

表 3.9 に都道府県別に液状化判定実施の有無を集計した集計結果、図 3.7 に都道府県別の液状化判定実施割合を示す。液状化判定実施割合が 80%と比較的高い結果となった都道府県の中には、秋田県、千葉県、東京都、茨城県、鳥取県といった過去に液状化による建物被害（日本海中部地震、鳥取県西部地震、東北地方太平洋沖地震等）が含まれており興味深い。

表 3.9 都道府県別の液状化判定実施状況（単位：棟）

液状化判定 都道府県	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合	液状化判定 都道府県	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
北海道	102	48	150	68.0%	滋賀県	512	214	726	70.5%
青森県	148	41	189	78.3%	京都府	547	340	887	61.7%
岩手県	207	202	409	50.6%	大阪府	1,762	603	2,365	74.5%
宮城県	1,021	707	1,728	59.1%	兵庫県	1,075	928	2,003	53.7%
秋田県	204	40	244	83.6%	奈良県	423	114	537	78.8%
山形県	152	141	293	51.9%	和歌山県	239	117	356	67.1%
福島県	1,219	503	1,722	70.8%	鳥取県	126	25	151	83.4%
茨城県	1,036	188	1,224	84.6%	島根県	191	19	210	91.0%
栃木県	750	313	1,063	70.6%	岡山県	1,457	305	1,762	82.7%
群馬県	838	324	1,162	72.1%	広島県	848	301	1,149	73.8%
埼玉県	2,929	401	3,330	88.0%	山口県	567	235	802	70.7%
千葉県	2,110	328	2,438	86.5%	徳島県	160	42	202	79.2%
東京都	3,004	469	3,473	86.5%	香川県	369	186	555	66.5%
神奈川県	2,773	992	3,765	73.7%	愛媛県	325	175	500	65.0%
新潟県	534	189	723	73.9%	高知県	151	93	244	61.9%
富山県	141	68	209	67.5%	福岡県	1,043	399	1,442	72.3%
石川県	220	91	311	70.7%	佐賀県	265	30	295	89.8%
福井県	192	85	277	69.3%	長崎県	82	97	179	45.8%
山梨県	112	318	430	26.0%	熊本県	325	60	385	84.4%
長野県	206	294	500	41.2%	大分県	186	158	344	54.1%
岐阜県	608	219	827	73.5%	宮崎県	135	27	162	83.3%
静岡県	833	922	1,755	47.5%	鹿児島県	296	42	338	87.6%
愛知県	2,206	566	2,772	79.6%	沖縄県	0	0	0	-
三重県	562	367	929	60.5%	合計	33,191	12,326	45,517	72.9%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

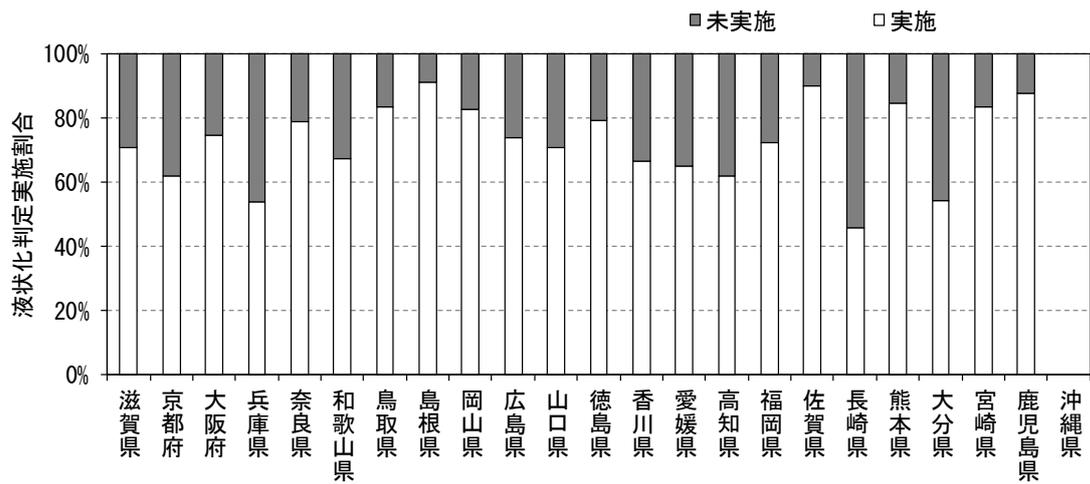
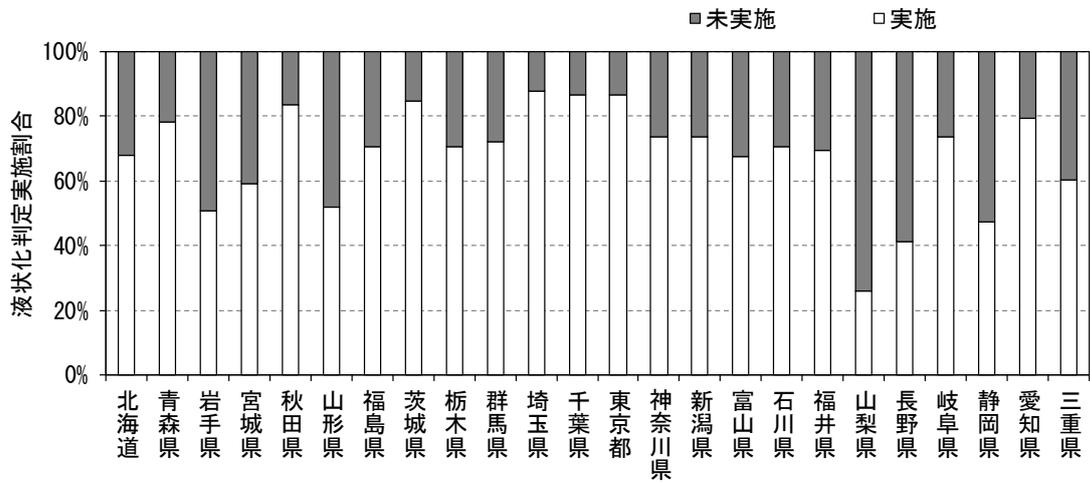


図 3.7 都道府県別の液状化判定実施割合

(4) 建築年

表 3.10 に建築年別に液状化判定実施の有無を集計した集計結果、図 3.8 に建築年別の液状化判定実施割合を示す。2011～2016 年は液状化判定の実施割合は毎年 70%程度という結果となり、また液状化判定の実施割合に若干の減少傾向が見られた。事例数は少ないものの 2010 年以前も同水準という結果となった。

表 3.10 建築年別の液状化判定実施状況（単位：棟）

液状化判定 建築年	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
2010 年以前	171	44	215	79.5%
2011 年	126	33	159	79.2%
2012 年	3,383	1,006	4,389	77.1%
2013 年	7,085	2,187	9,272	76.4%
2014 年	7,845	2,768	10,613	73.9%
2015 年	10,310	4,419	14,729	70.0%
2016 年	4,268	1,869	6,137	69.5%
不明	3	0	3	100.0%
合計	33,191	12,326	45,517	72.9%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

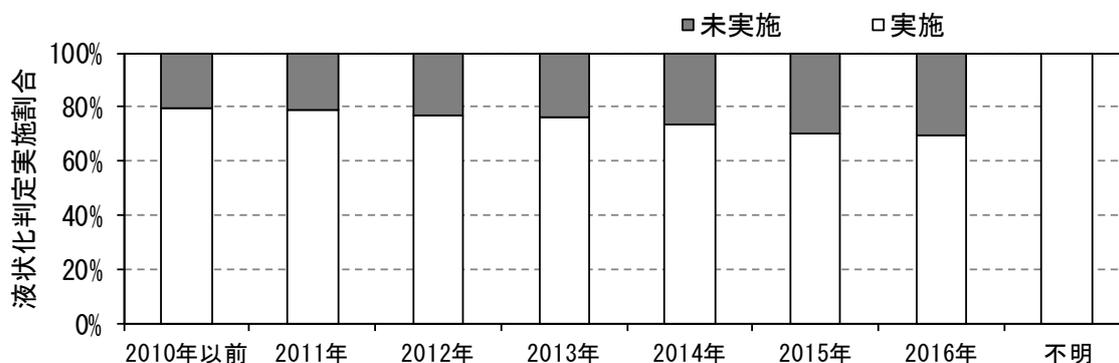


図 3.8 建築年別の液状化判定実施割合

(5) 建物階数

表 3.11 に戸建て住宅を対象に建物階数別に液状化判定実施の有無を集計した結果、図 3.9 に戸建て住宅における建物階数別の液状化判定実施割合を示す。表 3.12 と図 3.10 には、共同住宅を対象として同様に集計した結果を示す。

戸建て住宅に関しては、いずれの階数も液状化判定の実施割合が 70%程度であり特異な傾向は見られない。一方、共同住宅では、事例数が少ないが 6～10 階建ての液状化判定の実施率が相対的に低い傾向が見られる。

表 3.11 建物階数別の液状化判定実施状況（戸建て住宅）（単位：棟）

液状化判定 建物階数	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
1 階	2,109	876	2,985	70.7%
2 階	18,542	7,843	26,385	70.3%
3 階以上	1,516	395	1,911	79.3%
不明	304	129	433	70.2%
合計	22,471	9,243	31,714	70.9%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

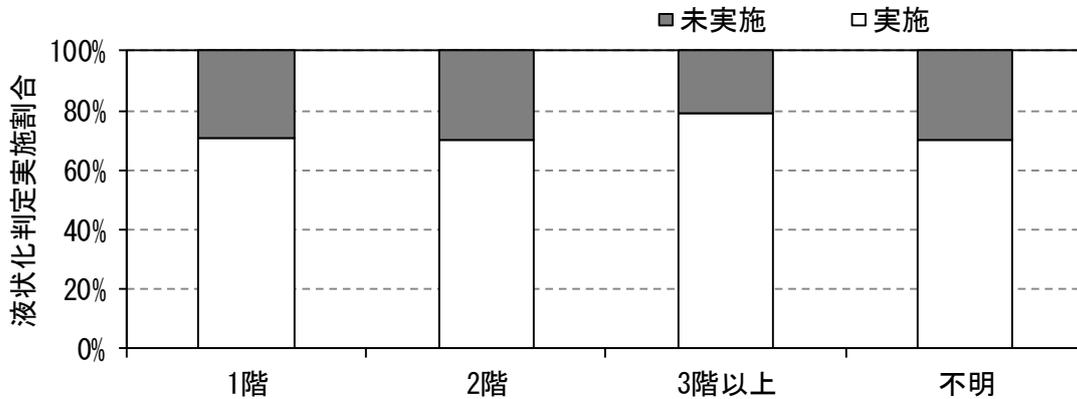


図 3.9 建物階数別の液状化判定実施割合（戸建て住宅）

表 3.12 建物階数別の液状化判定実施状況（共同住宅）（単位：棟）

液状化判定 建物階数	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
1～2 階	6,569	1,903	8,472	77.5%
3～5 階	2,497	622	3,119	80.1%
6～10 階	13	17	30	43.3%
11 階以上	7	0	7	100.0%
不明	103	28	131	78.6%
合計	9,189	2,570	11,759	78.1%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

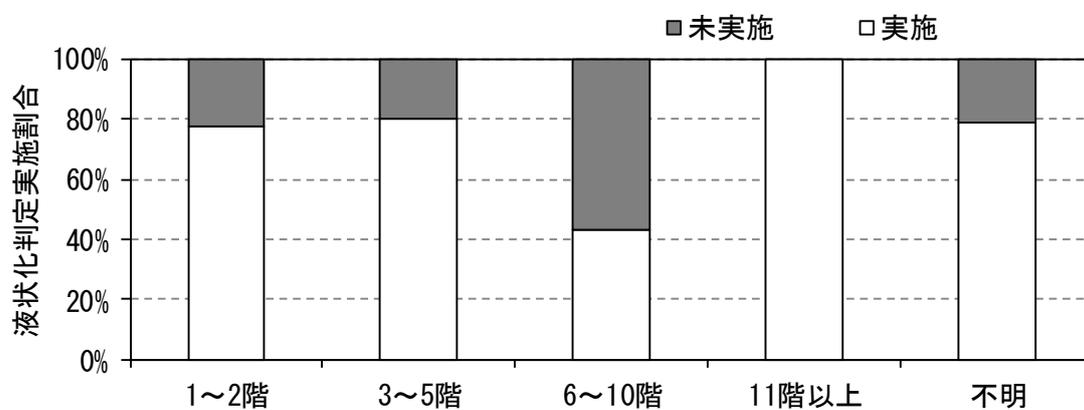


図 3.10 建物階数別の液状化判定実施割合（共同住宅）

(6) 微地形区分

表 3.13 に微地形区分別に液状化判定実施の有無を集計した結果、図 3.11 に微地形区分別の液状化判定実施割合を示す。微地形区分別に見た場合、山地等の液状化が発生しにくい地盤であっても液状化判定が実施されていることが分かる。また、液状化が発生しやすいと考えられる旧河道・旧池沼、あるいは埋立地における液状化判定の実施割合は、ほかの微地形区分と比較して突出して高いわけではないという結果となった。

なお、微地形区分とは、地震調査研究推進本部が確率論的地震動予測地図作成のために作成した 1/4 地域メッシュ単位（以下、250m メッシュ）で整備された表層地盤の地形分類である。今回の調査では、収集した事例の住所情報を使って微地形区分を特定した。住所が番地まで分からない場合といった微地形区分が特定できなかった事例は「不明」として整理した。なお、微地形区分は、当該 250m メッシュの主要な表層地盤の地形分類を示したものであり、必ずしも収集した事例の建物がその微地形区分上に位置しているとは限らない。

表 3.13 微地形区分別の液状化判定実施状況（単位：棟）

液状化判定 微地形区分	実施	未実施	合計	液状化判定 実施割合
山地	504	513	1,017	49.6%
山麓地	41	32	73	56.2%
丘陵	2,624	1,681	4,305	61.0%
火山地	17	18	35	48.6%
火山山麓地	424	342	766	55.4%
火山性丘陵	91	61	152	59.9%
岩石台地	11	3	14	78.6%
砂礫質台地	3,870	2,483	6,353	60.9%
ローム台地	5,789	744	6,533	88.6%
谷底低地	1,926	639	2,565	75.1%
扇状地	3,129	2,551	5,680	55.1%
自然堤防	2,495	405	2,900	86.0%
後背湿地	5,027	900	5,927	84.8%
旧河道・旧池沼	231	71	302	76.5%
三角州・海岸低地	3,564	742	4,306	82.8%
砂州・砂礫州	1,136	364	1,500	75.7%
砂丘	401	345	746	53.8%
砂丘・砂州間低地	142	51	193	73.6%
干拓地	1,328	171	1,499	88.6%
埋立地	313	171	484	64.7%
河原	17	2	19	89.5%
湖沼	1	0	1	100.0%
不明	110	37	147	74.8%
合計	33,191	12,326	45,517	72.9%

※液状化判定実施の有無が不明を除く

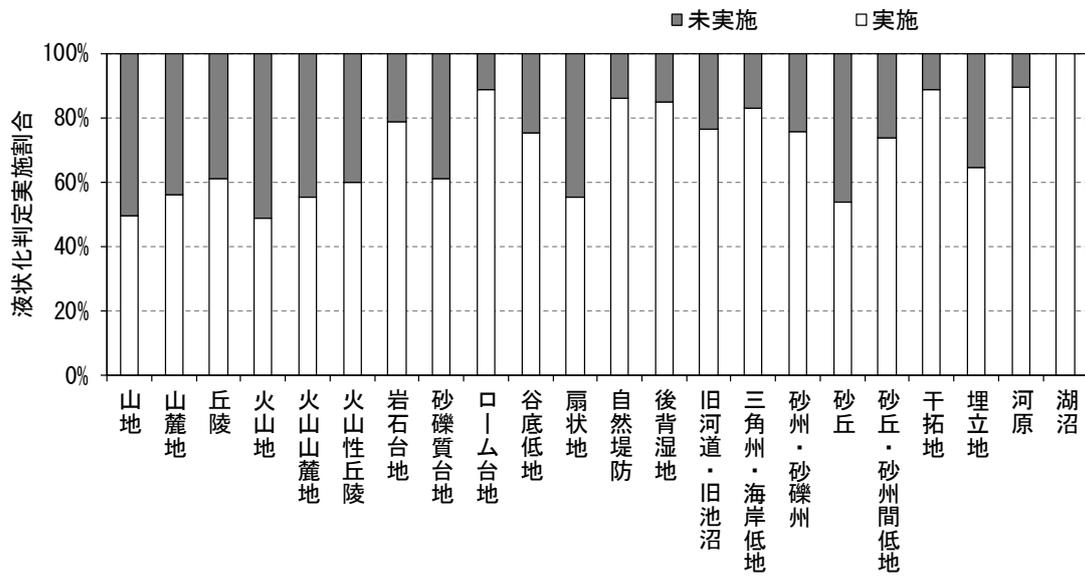


図 3.11 微地形区分別の液状化判定実施割合

3.3.2 採用されている液状化対策工法

本節では、液状化対策が実施されている事例を対象に、どのような対策工法が使われているか整理した結果を示す。

今回の調査で収集した事例のうち、液状化対策が実施された事例は 566 件であり、「対策なし」または「不明」が 99,778 件であった。ただし、「対策なし」の中には、建物の支持力確保のために杭基礎とする等、特に液状化対策を意図しない場合でも結果的に液状化対策につながっている施工も少なからず存在するものと考えられる。

(1) 建物の用途

表 3.14 に建物の用途別に液状化対策の実施有無を集計した結果を示す。表 3.15 に建物の用途別の液状化対策工法の内訳、図 3.12 に建物の用途別の液状化対策工法の構成割合を示す。戸建て住宅においては、杭工法、または深層混合処理工法の占める割合が約 95%であった一方、共同住宅では約 53%、その他建物では約 46%と戸建て住宅に比べてこれら工法の割合が低く、一方で地盤の液状化を抑制する密度増大工法や囲い込み工法といった工法の割合が戸建て住宅よりも多い傾向が見られた。

表 3.14 建物の用途別の液状化対策の実施状況（単位：棟）

建物の用途 \ 対策の有無	対策あり	対策なし・不明	合計
戸建て住宅	152	72,125	72,277
共同住宅	141	23,597	23,738
その他	265	836	1,101
不明	8	3,220	3,228
合計	566	99,778	100,344

表 3.15 建物の用途別の液状化対策工法（単位：棟）

建物の用途 \ 液状化対策工法	密度増大工法	囲い込み工法	杭工法	深層混合処理工法	その他	合計
戸建て住宅	2	1	44	101	4	152
共同住宅	45	14	36	40	6	141
その他	83	51	91	31	9	265
不明	1	2	0	5	0	8
合計	131	68	171	177	19	566

- 密度増大工法 囲い込み工法 杭工法
 深層混合処理工法 その他

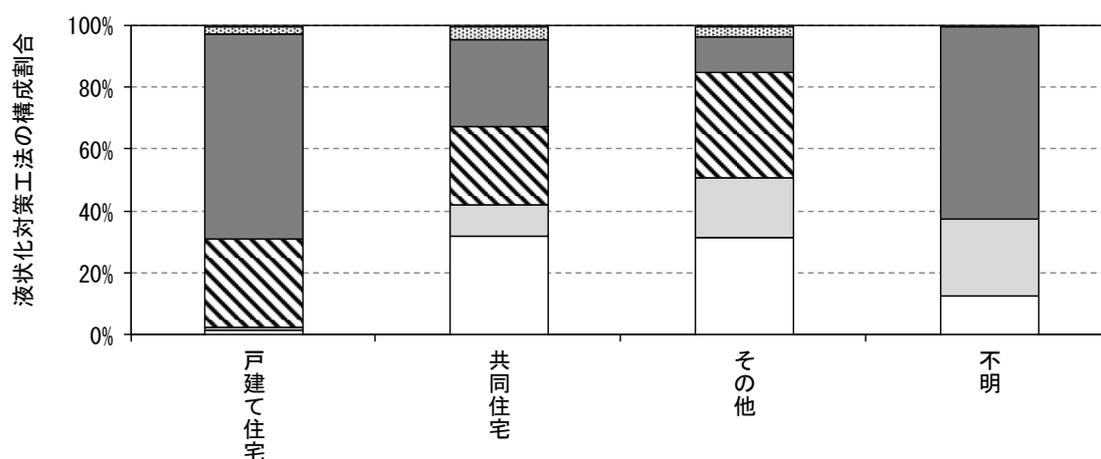


図 3.12 建物の用途別の液状化対策工法の構成割合

(2) 建物構造

表 3.16 に建物構造別に液状化対策の実施有無を集計した結果を示す。表 3.17 に建物構造別の液状化対策工法の内訳、図 3.13 に建物構造別の液状化対策工法の構成割合を示す。杭工法は構造に依らず採用されていることが見て取れる。深層混合処理工法は木造と S 造、密度増大工法は RC 造の事例が多い結果となった。

表 3.16 建物構造別の液状化対策の実施状況（単位：棟）

対策の有無 建物構造	対策あり	対策なし・不明	合計
木造	65	22,796	22,861
S 造	254	76,709	76,963
RC 造（注）	152	167	319
不明	95	106	201
合計	566	99,778	100,344

（注）SRC 造を含む

表 3.17 建物構造別の液状化対策工法（単位：棟）

液状化対策工法 建物構造	密度増大 工法	囲い込み 工法	杭工法	深層混合 処理工法	その他	合計
木造	2	1	23	35	4	65
S 造	5	23	90	134	2	254
RC 造（注）	81	29	34	7	1	152
不明	43	15	24	1	12	95
合計	131	68	171	177	19	566

（注）SRC 造を含む

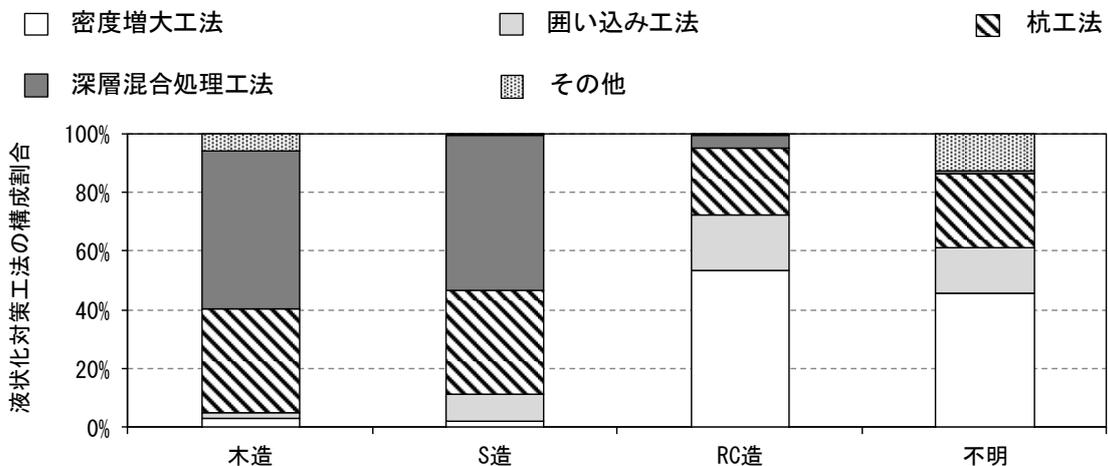


図 3.13 建物構造別の液状化対策工法の構成割合

(3) 都道府県

表 3.18 に都道府県別に液状化対策の実施有無を集計した結果を示す。表 3.19 に都道府県別の液状化対策工法の内訳、図 3.14 に都道府県別の液状化対策工法の構成割合を示す。事例数が少ないため、傾向を読み取るのが難しいが、東京都、大阪府、兵庫県等の比較的件数が多い自治体では杭工法と深層混合処理工法の割合が多い傾向が見られる。一方、千葉県は密度増大工法が収集した事例の半分以上を占める結果となった。

表 3.18 都道府県別の液状化対策の実施状況（単位：棟）

対策の有無 都道府県	対策あり	対策なし・不明	合計
北海道	1	395	396
青森県	2	417	419
岩手県	0	910	910
宮城県	14	3,885	3,899
秋田県	22	505	527
山形県	0	569	569
福島県	0	3,074	3,074
茨城県	5	3,341	3,346
栃木県	1	2,730	2,731
群馬県	2	2,231	2,233
埼玉県	19	7,216	7,235
千葉県	133	5,052	5,185
東京都	99	7,474	7,573
神奈川県	17	7,670	7,687
新潟県	23	1,054	1,077
富山県	0	427	427
石川県	1	564	565
福井県	1	476	477
山梨県	2	994	996
長野県	3	1,736	1,739
岐阜県	2	1,757	1,759
静岡県	2	3,874	3,876
愛知県	13	6,840	6,853
三重県	2	2,050	2,052
滋賀県	0	1,796	1,796
京都府	0	1,972	1,972
大阪府	54	4,877	4,931
兵庫県	64	4,759	4,823
奈良県	0	1,202	1,202
和歌山県	0	874	874
鳥取県	1	331	332
島根県	5	370	375
岡山県	22	2,697	2,719
広島県	1	2,739	2,740
山口県	2	1,973	1,975
徳島県	3	529	532
香川県	1	1,023	1,024
愛媛県	0	1,179	1,179
高知県	0	724	724
福岡県	33	3,299	3,332
佐賀県	8	647	655
長崎県	0	713	713
熊本県	0	791	791
大分県	1	979	980
宮崎県	0	456	456
鹿児島県	5	607	612
沖縄県	0	0	0
不明	2	0	2
合計	566	99,778	100,344

表 3.19 都道府県別の液状化対策工法（単位：棟）

都道府県	液状化対策工法 密度増大 工法	囲い込み 工法	杭工法	深層混合 処理工法	その他	合計
北海道	1	0	0	0	0	1
青森県	1	1	0	0	0	2
岩手県	0	0	0	0	0	0
宮城県	12	1	0	1	0	14
秋田県	2	0	17	0	3	22
山形県	0	0	0	0	0	0
福島県	0	0	0	0	0	0
茨城県	1	0	2	2	0	5
栃木県	0	0	0	1	0	1
群馬県	0	0	2	0	0	2
埼玉県	0	3	8	8	0	19
千葉県	71	6	25	31	0	133
東京都	20	15	50	14	0	99
神奈川県	2	2	9	4	0	17
新潟県	2	2	3	16	0	23
富山県	0	0	0	0	0	0
石川県	0	1	0	0	0	1
福井県	0	1	0	0	0	1
山梨県	0	0	0	2	0	2
長野県	0	0	2	1	0	3
岐阜県	0	0	0	2	0	2
静岡県	0	0	0	2	0	2
愛知県	0	5	0	7	1	13
三重県	0	1	0	1	0	2
滋賀県	0	0	0	0	0	0
京都府	0	0	0	0	0	0
大阪府	1	11	28	13	1	54
兵庫県	17	6	25	3	13	64
奈良県	0	0	0	0	0	0
和歌山県	0	0	0	0	0	0
鳥取県	0	0	0	1	0	1
島根県	0	0	0	5	0	5
岡山県	0	2	0	20	0	22
広島県	0	1	0	0	0	1
山口県	0	0	0	2	0	2
徳島県	0	3	0	0	0	3
香川県	0	0	0	1	0	1
愛媛県	0	0	0	0	0	0

都道府県	液状化対策工法						合計
	密度増大 工法	囲い込み 工法	杭工法	深層混合 処理工法	その他		
高知県	0	0	0	0	0	0	
福岡県	0	2	0	31	0	33	
佐賀県	0	0	0	8	0	8	
長崎県	0	0	0	0	0	0	
熊本県	0	0	0	0	0	0	
大分県	0	1	0	0	0	1	
宮崎県	0	0	0	0	0	0	
鹿児島県	0	4	0	1	0	5	
沖縄県	0	0	0	0	0	0	
不明	1	0	0	0	1	2	
合計	131	68	171	177	19	566	

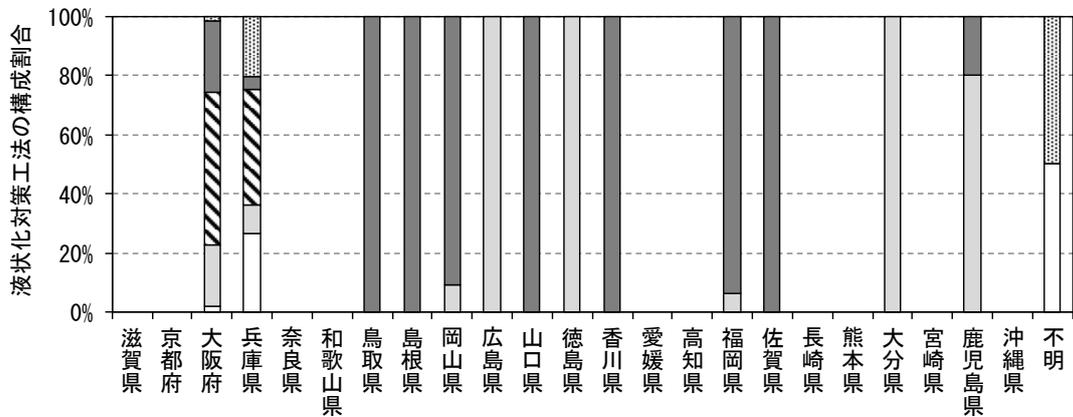
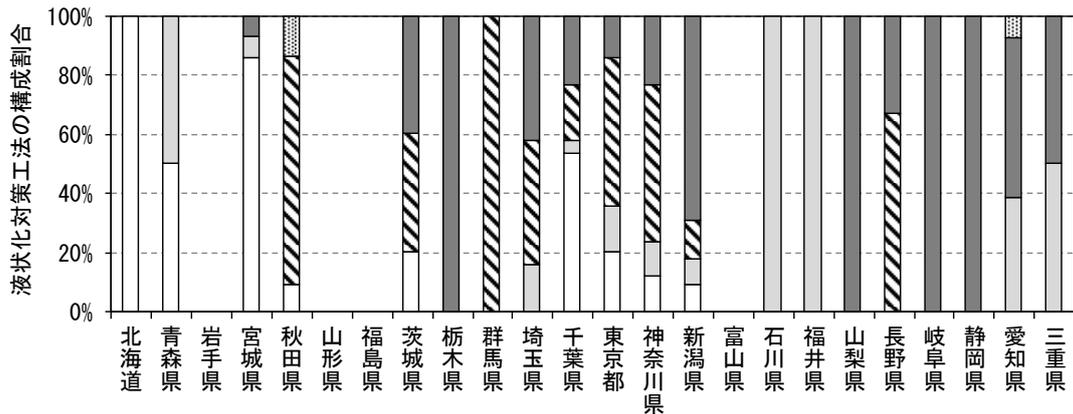


図 3.14 都道府県別の液状化対策工法の構成割合

(4) 建築年

表 3.20 に建築年別に液状化対策の実施有無を集計した結果を示す。表 3.21 に建築年別の液状化対策工法の内訳、図 3.15 に建築年別の液状化対策工法の構成割合を示す。2013 年から深層混合処理工法の占める割合が多く、2010 年以前については密度増大工法が最も多い結果となった。

表 3.20 建築年別の液状化対策の実施状況（単位：棟）

対策の有無 建築年	対策あり	対策なし・不明	合計
2010 年以前	226	148	374
2011 年	18	16,377	16,395
2012 年	15	19,335	19,350
2013 年	43	21,071	21,114
2014 年	89	18,979	19,068
2015 年	106	16,759	16,865
2016 年	15	7,104	7,119
不明	54	5	59
合計	566	99,778	100,344

表 3.21 建築年別の液状化対策工法（単位：棟）

液状化対策工法 建築年	密度増大 工法	囲い込み 工法	杭工法	深層混合 処理工法	その他	合計
2010 年以前	115	40	44	24	3	226
2011 年	1	1	16	0	0	18
2012 年	0	9	6	0	0	15
2013 年	0	13	21	9	0	43
2014 年	0	1	27	61	0	89
2015 年	0	2	32	72	0	106
2016 年	0	0	4	10	1	15
不明	15	2	21	1	15	54
合計	131	68	171	177	19	566

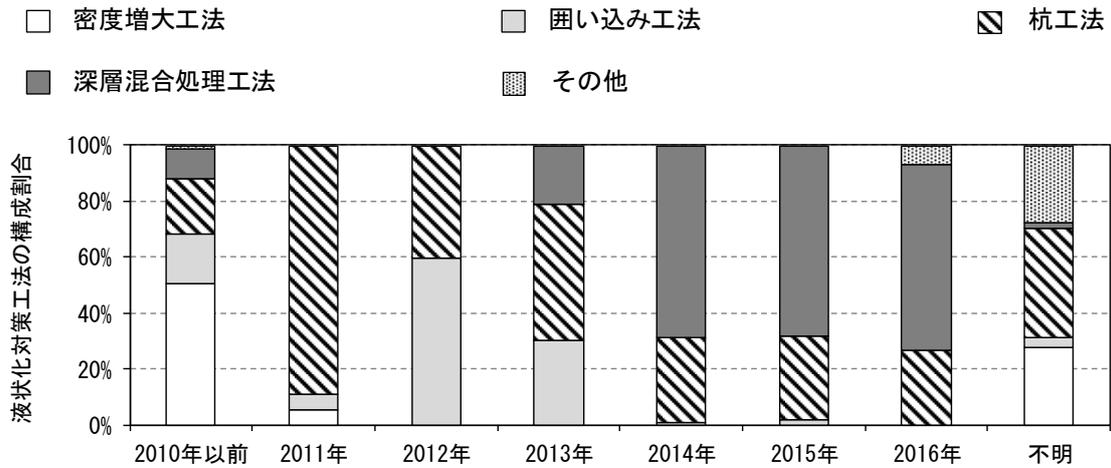


図 3.15 建築年別の液状化対策工法の構成割合

(5) 建物階数

表 3.22 に戸建て住宅を対象として建物階数別に液状化対策の実施有無を集計した結果を示す。表 3.23 に戸建て住宅を対象とした建物階数別の液状化対策工法の内訳、図 3.16 に建物階数別の液状化対策工法の構成割合を示す。同様に、表 3.24、表 3.25 および図 3.17 には共同住宅を対象とした結果を示す。

戸建て住宅と共同住宅ともに、1～2 階の低層の場合は深層混合処理工法の割合が多く、3 階以上の場合は杭工法の割合が多い結果となった。

表 3.22 建物階数別の液状化対策の実施状況（戸建て住宅）（単位：棟）

建物階数 \ 対策の有無	対策あり	対策なし・不明	合計
1階	6	5,973	5,979
2階	111	60,942	61,053
3階以上	27	3,705	3,732
不明	8	1,505	1,513
合計	152	72,125	72,277

表 3.23 建物階数別の液状化対策工法（戸建て住宅）（単位：棟）

建物階数 \ 液状化対策工法	密度増大工 法	囲い込み工 法	杭工法	深層混合 処理工法	その他	合計
1階	0	0	0	6	0	6
2階	2	1	24	80	4	111
3階以上	0	0	13	14	0	27
不明	0	0	7	1	0	8
合計	2	1	44	101	4	152

- 密度増大工法 囲い込み工法 杭工法
 深層混合処理工法 その他

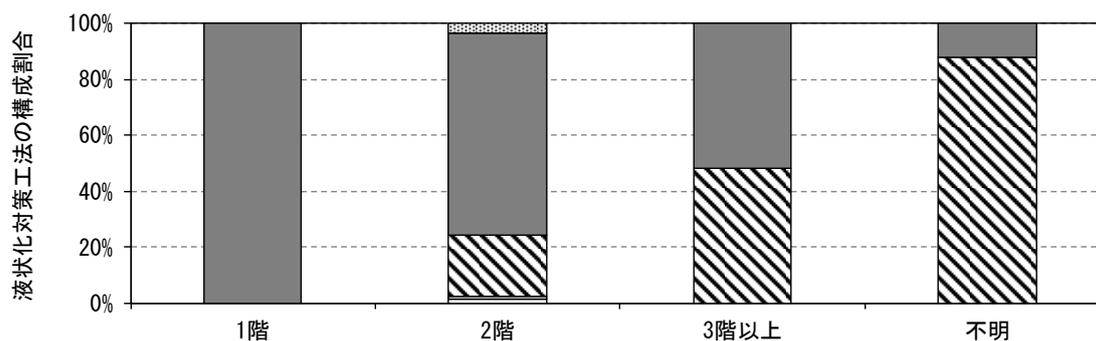


図 3.16 建物階数別の液状化対策工法の構成割合（戸建て住宅）

表 3.24 建物階数別の液状化対策の実施状況（共同住宅）（単位：棟）

対策の有無 建物階数	対策あり	対策なし・不明	合計
1～2階	26	18,064	18,090
3～5階	46	5,236	5,282
6～10階	5	25	30
11階～	7	0	7
不明	57	272	329
合計	141	23,597	23,738

表 3.25 建物階数別の液状化対策工法（共同住宅）（単位：棟）

液状化対策工法 建物階数	密度増大 工法	囲い込み 工法	杭工法	深層混合 処理工法	その他	合計
1～2階	0	0	0	26	0	26
3～5階	0	1	32	13	0	46
6～10階	1	1	2	1	0	5
11階以上	0	7	0	0	0	7
不明	44	5	2	0	6	57
合計	45	14	36	40	6	141

- 密度増大工法 囲い込み工法 杭工法
 深層混合処理工法 その他

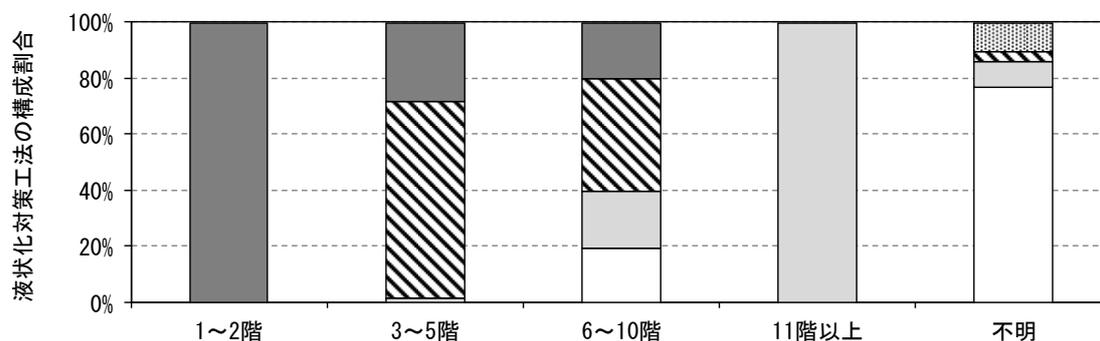


図 3.17 建物階数別の液状化対策工法の構成割合（共同住宅）

(6) 微地形区分

表 3.26 に微地形区分別に液状化対策の実施有無を集計した結果を示す。表 3.27 に微地形区分別の液状化対策工法の内訳、図 3.18 に微地形区分別の液状化対策工法の構成割合を示す。液状化が発生しやすい微地形区分に着目すると、埋立地においては密度増大工法の割合の方が大きい結果となった。ひとつの理由としては、埋立地において杭工法を採用する場合、杭先端位置が相当深い位置になる場合があり、費用対効果の観点から杭工法が採用されにくい点が挙げられる。埋立地以外の微地形区分では、杭工法および深層混合処理工法の割合が大きい結果となった。

表 3.26 微地形区分別の液状化対策の実施状況（単位：棟）

対策の有無 微地形区分	対策あり	対策なし・不明	合計
山地	1	2,788	2,789
山麓地	0	180	180
丘陵	12	11,561	11,573
火山地	0	70	70
火山山麓地	0	1,890	1,890
火山性丘陵	1	349	350
岩石台地	0	54	54
砂礫質台地	31	16,176	16,207
ローム台地	21	17,903	17,924
谷底低地	6	5,716	5,722
扇状地	21	12,347	12,368
自然堤防	35	4,942	4,977
後背湿地	40	10,149	10,189
旧河道・旧池沼	4	511	515
三角州・海岸低地	82	7,401	7,483
砂州・砂礫州	35	2,549	2,584
砂丘	5	1,360	1,365
砂丘・砂州間低地	21	402	423
干拓地	25	2,508	2,533
埋立地	162	626	788
河原	0	40	40
湖沼	0	1	1
不明	64	255	319
合計	566	99,778	100,344

表 3.27 微地形区分別の液状化対策工法（単位：棟）

液状化対策工法 微地形区分	密度増大 工法	囲い込み 工法	杭工法	深層混合 処理工法	その他	合計
山地	0	0	0	1	0	1
山麓地	0	0	0	0	0	0
丘陵	1		2	9	0	12
火山地	0	0	0	0	0	0
火山山麓地	0	0	0	0	0	0
火山性丘陵	0	0	0	1	0	1
岩石台地	0	0	0	0	0	0
砂礫質台地	0	0	8	23	0	31
ローム台地	1	0	9	11	0	21
谷底低地	0	0	3	3	0	6
扇状地	2	2	5	11	1	21
自然堤防	9	0	12	13	1	35
後背湿地	0	1	19	20	0	40
旧河道・旧池沼	0	0	3	1	0	4
三角州・海岸低地	9	0	40	33	0	82
砂州・砂礫州	10	0	16	9	0	35
砂丘	1	0	3	1	0	5
砂丘・砂州間低地	1	0	17	0	3	21
干拓地	0	0	10	14	1	25
埋立地	96	3	24	27	12	162
河原	0	0	0	0	0	0
湖沼	0	0	0	0	0	0
不明	1	62	0	0	1	64
合計	131	68	171	177	19	566

- 密度増大工法
 囲い込み工法
 杭工法
- 深層混合処理工法
 その他

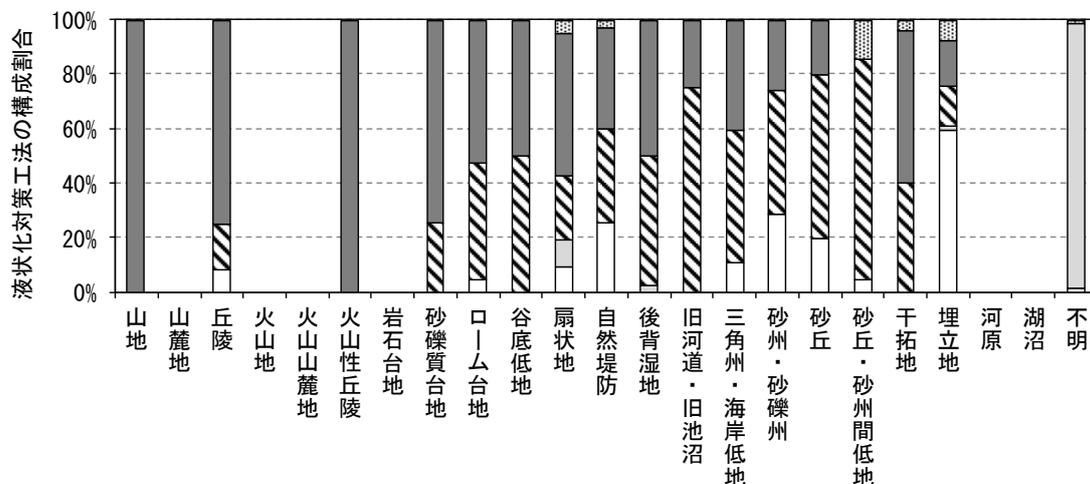


図 3.18 微地形区分別の液状化対策工法の構成割合

付録 過去の地震における液状化被害

過去の地震における建物の液状化被害については、研究機関、学会等による調査報告がまとめられている場合が多い。1964 年新潟地震以降の液状化被害が発生した主な地震は下表のとおりである。そのうちゴシック体で表記した 9 地震について、調査報告による液状化被害の特徴および要因等の概要を示す。

表 地盤の液状化が確認された主な地震

地震名 (括弧内は地震発生日)	マグニチュード ^{※1)}	液状化被害地域	地形的特徴等
新潟地震 (1964. 6. 16)	7. 5	新潟市	埋立地、平地の側方流動
根室半島沖地震 (1973. 6. 17)	7. 4	根室市、釧路市	埋立地盤
宮城県沖地震 (1978. 6. 12)	7. 4	仙台市七郷、六郷	平地（沖積砂層）
日本海中部地震 (1983. 5. 26)	7. 7	秋田市、八郎潟付近 ほか	河川・水田の埋立地、砂丘と沖積低地境界付近の造成地
千葉県東方沖地震 (1987. 12. 17)	6. 7	千葉市、浦安市 ほか	海岸・水田の埋立地
釧路沖地震 (1993. 1. 15)	7. 8	釧路市、標茶町 ほか	沖積低地上の盛土
北海道南西沖地震 (1993. 7. 12)	7. 8	利別川流域、函館港	旧河道・海岸の埋立地（再液状化）、砂鉄採取後の埋め戻し土
北海道東方沖地震 (1994. 10. 4)	8. 1	釧路市、根室市 ほか	
三陸はるか沖地震 (1994. 12. 28)	7. 5	八戸市	
兵庫県南部地震 (1995. 1. 17)	7. 3	神戸市 ほか	まさ土による埋立地・盛土
鳥取県西部地震 (2000. 10. 6)	7. 3	米子市 ほか	干拓地、埋立地
芸予地震 (2001. 3. 24)	6. 7	大野町、廿日市市	埋立地、河川・港湾の護岸
十勝沖地震 (2003. 9. 26)	7. 1	札幌市	火山灰による造成宅地
新潟県中越地震 (2004. 10. 23)	6. 8	柏崎市、刈羽村、見附市	斜面地における地すべり、旧河道の液状化

地震名 (括弧内は地震発生日)	マグニチュード ^{※1)}	液状化被害地域	地形的特徴等
福岡県西方沖地震 (2005. 3. 20)	7	福岡県、佐賀県 ほか	埋立地（港湾構造物が軽微な被害を受けたのみとの記録有り）
新潟県中越沖地震 (2007. 7. 16)	6.8	長岡市、柏崎市 ほか	旧河道の埋立地、砂丘斜面の崩壊
東北地方太平洋沖地震 (2011. 3. 11)	9	千葉県、茨城県、福島県 ほか	埋立地
熊本地震 (2016. 4. 14～16)	6.5（14日） 7.3（16日）	熊本市	平地（緑川と白川に挟まれた地域）

被害概要

(1) 新潟地震 (1964 年) 参2) 参3)

新潟市内における RC 造建物の 22%にあたる 340 棟が傾斜や沈下等の被害を受け、それらの多くは、信濃川沿岸に位置していた。被害を受けた建物のなかには、杭基礎を有するものも少なくなかったが、N 値（地盤の相対的な硬さを示す指標）15 以下の砂地盤に杭先端を設置した建物 75 棟のうち 3 分の 2 については、上部構造に被害が無い状態で 50cm を超える沈下または 1° を超える傾斜が生じており、地盤の液状化の影響によるものと推察されている。

一方、新潟駅の北西部に建つ SRC 造で地上 9 階建てのビルにおいては、その南側に隣接する RC 造で地上 3 階建ての建物を含む多くの建物が傾斜・沈下したにも関わらず、傾斜や変位が確認されなかった。これについては、長さ 12m 程度の RC 杭を N 値 30 以上の砂地盤まで打ち込んでいたことが影響したものと推察されている。

(2) 宮城県沖地震 (1978 年) 参4) ~参6)

仙台市内の沖積平野に位置している六郷地区および七郷地区は地下水位が高い砂地盤であったことから液状化が発生しており、建物被害として報告されている 1,119 棟の中には液状化による被害も含まれているものと考えられる。

なお、既製コンクリート杭の被害調査報告によると当該地震により被害を受けた杭基礎建物のうち調査対象とされた 9 例において、そのうち 8 例は振動による杭体の破壊であり、残りの 1 例は斜面地上の異種基礎であったことに起因する杭体被害であり、いずれも地盤の液状化による建物被害でないこと、あるいは地盤の液状化が発生していないこととされている。

(3) 千葉県東方沖地震 (1987 年) 参7) 参8)

地盤の液状化による噴砂現象については、千葉県、茨城県、神奈川県、東京都の 1 都 3 県で確認されており、液状化被害を受けた建物は 30 棟以上と報告されている。市原市や袖ヶ浦町、東京湾沿岸の埋立地では、木造住宅が被害を受けており、外観はほぼ無被害の状態で著しく傾斜した。九十九里平野に位置する一宮町でも地盤の液状化に伴う建物被害が確認された。これらの地域では、液状化の発生場所は、堤間低地・砂州縁辺部における旧砂鉄採掘場、一宮川の旧河道および水田上等の盛土（人工造成地）であった。

なお、東京湾沿岸地域におけるプラント施設については、タンク等の施設において締固めによる地盤改良が施されており、液状化による被害はほぼ無かったことも報告されている。

(4) 兵庫県南部地震 (1995 年) 参9) ~参15)

本地震による地盤の液状化は、兵庫県や大阪府における臨海部の埋立地や沖積平野の地

下水位が高かった地域、また内陸部においても地下水位が高い古池の埋立地や旧河道等で発生した。また、埋立地では側方流動（地震で地盤が液状化した際に、地盤が水平方向に移動する現象）が発生した。

杭基礎を有する建物において地盤の液状化による被害を受けた事例として 10 例の記録がある。これらの多くは、液状化層下端付近で杭破断が確認されており、その結果、建物に大きな傾斜や不同沈下等の被害が生じた。

また、液状化発生に対して有効であった設計事例として、節付き PHC 杭を用いた摩擦杭で設計した S 造で平屋建ての建物、振動締固め工法で改良した地盤上に直接基礎で支持させた低層建物が挙げられていた。

さらに、神戸市や西宮市等の造成宅地においては、盛土層もしくはその下位に分布する緩い砂地盤が液状化し、盛土下部の地山が傾斜していたため盛土が斜面下方に流動した事例が 41 箇所確認された。特に旧地形が谷地形のところを盛土した地域における被害が大きく、この被害形態は、谷埋め型盛土の滑動崩落と呼ばれるようになった。

(5) 鳥取県西部地震（2000 年）参 16) 参 17)

本地震による地盤の液状化は、鳥取県米子市、日吉津村、境港市、八束町、松江市、案来市の中海臨海地に集中して確認されており、その多くは、干拓地や埋立地であった。

浚渫土砂により埋め立てられた米子市内の団地では、地盤の液状化により約 170 戸の住宅に不同沈下等の被害が生じ、その周辺のアスファルト路面やライフライン施設でも浮き上がり等の被害が確認された。

また、当該団地内において地下水の排水や盛土による地盤改良が行われた一部の箇所においては、被害が確認されなかったことも報告されている。

(6) 十勝沖地震（2003 年）参 18) ~参 20)

北見市や札幌市等、火山灰で造成された宅地や農地において地盤の液状化が確認された。

住宅の被害については、十勝川流域の低地で泥炭や軟弱なシルト層等による軟弱地盤地域である豊頃町大津にて、約 1° の傾斜が生じた住宅が確認された。この住宅は、軟弱地盤上に 1m 程度の盛土が施されており、敷地内に噴砂や地割れが発生していた。なお、地下水位が GL-0.7m であり、盛土内における地下水位以深の層で液状化し、建物傾斜に影響した可能性が指摘されている。また、札幌市清田区における谷を火山灰質土で埋め立てられた地盤上に立つ住宅 3 棟については、建物の傾斜・沈下および火山灰質土の噴出が確認された。

(7) 新潟県中越地震（2004 年）参 21)

本地震による地盤の液状化は、柏崎市・刈羽村周辺のほか、見附市南本町付近、長岡市（長岡ニュータウン）等で確認されている。

住宅の被害が多かった見附市南本町は、刈谷田川の旧河道に位置しており、住宅の傾斜や噴砂痕が確認されている。

(8) 東北地方太平洋沖地震 (2011 年) 参 22) ~参 25)

地盤の液状化による住家被害は、9 都県 80 市区町村にて確認されており、その件数は、26,914 件であった。

千葉県および茨城県の臨海区域における圧密沈下防止等を主目的として柱状地盤改良や杭工法が採用されていた住宅において、改良体もしくは杭の先端が液状化層を貫いて非液状化層に打設されている場合、住宅の不同沈下量および傾斜角が抑制されたことが報告されている。

(9) 熊本地震 (2016 年) 参 26) ~参 28)

熊本市南区において地盤液状化の影響により倒壊・崩壊に至った事例は確認されていないが、傾斜・沈下が生じた建物が確認されている。この文献では、9 棟の建物に関する被害が報告されている。これらの被害状況としては、上部構造部に目立った損傷がない状態で傾斜・沈下を生じている建物と、周辺地盤が大きく沈下して建物基礎が露出している建物があり、前者が直接基礎、後者が杭基礎である可能性が高いことが指摘されている。

参考文献

1. 1) 東京都 建物における液状化対策ポータルサイト
<http://tokyo-toshiseibi-ekijoka.jp/> (2017年10月26日閲覧)
1. 2) 国土交通省 「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」について
http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi06_hh_000009.html (2017年12月4日閲覧)
1. 3) 国土交通省 宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説
www.mlit.go.jp/common/000993757.pdf (2017年12月4日閲覧)
1. 4) 国土交通省北陸地方整備局 北陸の液状化しやすさマップ
<http://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/index.html> (2017年12月4日閲覧)
1. 5) 浦安市ホームページ
<http://www.city.urayasu.lg.jp/todokede/anken/shinsai/koufukin/index.html>
(2017年12月19日閲覧)
1. 6) 葛飾区ホームページ
<http://www.city.katsushika.lg.jp/kurashi/1000059/1003399/1003416.html>
(2017年12月19日閲覧)
2. 1) 公益社団法人地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ 18 液状化対策工法, 2004. 9
2. 2) 吉見吉昭、福武毅芳：地盤液状化の物理と評価・対策技術, 2005. 1
2. 3) 一般財団法人ベターリビング：平成 24 年度市街地液状化対策実現可能性検討調査報告書（浦安市）, 2012. 11
2. 4) 株式会社東京ソイルリサーチ：平成 24 年度建築基準整備促進事業 小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討報告書, 2013. 3
2. 5) 一般財団法人ベターリビング、一般財団法人日本建築センター、一般財団法人国土技術研究センター：建設技術審査証明報告書, 2002. 1～2016. 12
2. 6) 株式会社総合土木研究所：基礎工, 2011～2015
2. 7) 東京都都市整備局：液状化による建物被害に備えるための手引, 2015. 2
2. 8) 葛飾区都市整備部：液状化による建物被害に備えましょう, 2014. 4
2. 9) 公益社団法人 土木学会 建設技術研究委員会 建設技術体系化小委員会：液状化対策工法の分類と工法概要（原理別分類表と地盤改良工法の選定表）, 2012. 4
2. 10) NPO 住宅地盤品質協会：住宅地盤の調査・施工に関わる技術基準書, 2016. 1
2. 11) NPO 住宅地盤品質協会：強い住宅地盤－住宅基礎地盤の失敗例に学ぶ－, 2011. 1
2. 12) NPO 住宅地盤品質協会：住宅地盤の補強工法設計例, 2010. 6
2. 13) (監修) 国土庁防災局震災対策課、建設省建設経済局宅地開発課民間宅地指導室、建設省住宅局建築指導課：小規模建築等のための液状化マップと対策工法, 1994. 6

- 参 1) 気象庁 震度情報データベース
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php> (2016年10月31日閲覧)
- 参 2) 1964年新潟地震オープンデータ特設サイト
<http://ecom-plat.jp/19640616-niigata-eq/> (2016年10月31日閲覧)
- 参 3) 吉見吉昭, 福武毅芳: 地盤液状化の物理と評価・対策技術, 技報堂出版株式会社, 2005. 10
- 参 4) 国立防災科学技術センター: 1978年宮城県沖地震による災害 現地調査報告, 主要災害調査 第15号, 1978. 10
- 参 5) '78宮城県沖地震 I 災害の記録: 仙台市, 1979. 6
- 参 6) 建設省建築研究所: 1978年宮城県沖地震による既製コンクリート杭の被害調査報告, 建築研究資料 No. 31, 1981. 7
- 参 7) 望月利男, 谷内幸久, 塩野計司, 江原信之: 1987年12月17日千葉県東方沖地震調査震度分布と被害の概要, 総合都市研究第35号, 1988
- 参 8) 古藤田喜久雄, 若松加寿江: 千葉県東方沖地震による液状化現象とその被害, 土と基礎, 36-12, pp19-24, 1988. 12
- 参 9) 兵庫県 被害状況・復興の歩み
https://web.pref.hyogo.lg.jp/safe/cate3_808.html (2016年11月30日閲覧)
- 参 10) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996. 3
- 参 11) 社団法人地盤工学会 阪神大震災調査委員会: 阪神・淡路大震災調査報告書(解説編), 1996, 3
- 参 12) 建設省建築研究所: 兵庫県南部地震における液状化・側方流動に関する研究, 建築研究報告 No. 138, 2000. 11
- 参 13) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書, 1996. 3
- 参 14) 沖村孝, 二木幹夫, 岡本敦, 南部光広: 兵庫県南部地震による宅地地盤被害と各種要因との関係分布, 土木学会論文集, No. 623/IV-43, pp. 259-270, 1999. 6
- 参 15) 久世直哉: 盛土の滑動崩落, 建築技術, 2009. 9
- 参 16) 消防庁: 平成12年(2000年)鳥取県西部地震(確定報), 2002. 10. 10
- 参 17) 藤村尚, 坂口雅範: 鳥取県西部地震における液状化被害, 地震工学研究発表会講演論文集, pp65-68, 2001. 8
- 参 18) 平成15年(2003年)十勝沖地震(確定報): 消防庁, 2004. 3. 31
- 参 19) 内閣府 防災情報のページ
<http://www.bousai.go.jp/index.html> (2016年11月30日閲覧)
- 参 20) 土木学会 2003年十勝沖地震被害調査報告会, 三浦清一, 安田進, 山下聡, 規矩大議: 2003年十勝沖地震による地盤災害について
<https://www.jsce.or.jp/report/25/> (2016年11月30日閲覧)
- 参 21) 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所: 平成16年新潟県中

- 越地震建築物被害調査報告書（速報）, 2004. 12
- 参 22) 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所 : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 2012. 3
- 参 23) 消防庁災害対策本部 : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) について (第 154 報) , 2016. 10. 20
- 参 24) 国土交通省都市局市街地整備課 : 液状化対策推進事業について, 2011. 11
- 参 25) 株式会社東京ソイルリサーチ : 平成 24 年度建築基準整備促進事業 調査番号 47 小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討 検討結果報告, 2013. 4
- 参 26) 「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」について (第 41 報) , 平成 28 年 11 月,
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1607/12a/kaisetsu201607121030.pdf> (2016 年 12 月 30 日閲覧)
- 参 27) 総務省消防庁災害対策本部公表資料 : 熊本県熊本地方を震源とする地震 (第 75 報)
- 参 28) 国土技術政策総合研究所 国立研究開発法人建築研究所 : 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震建築物被害調査報告 (速報), 国総研資料 No929 号 建築研究資料 No173 号

謝辞

第2章の液状化対策工法の調査にあたって、末政直晃教授（東京都市大学都市工学科）ならびに井上波彦上席研究員（国立研究開発法人建築研究所構造研究グループ）に技術的助言を頂いた。また、第3章では、住宅の設計や施工実績のある会社や地盤改良等の工事を請け負う会社から実物件における液状化対策に関する情報を提供して頂いた。本報告書の発刊にあたり、ご協力頂いた関係者および機関各位に深謝の意を表す。

地震保険研究33

建物の液状化対策工法および
その実施状況に関する調査

2018年2月発行

発行 損害保険料率算出機構（損保料率機構）

〒163-1029 東京都新宿区西新宿 3 - 7 - 1

TEL 03-6758-1300（代表）

URL <http://www.giroj.or.jp>

印刷 日本印刷株式会社

〒501-0476 岐阜県本巣市海老 3 7 4 - 1 1