

論文の内容の要旨

氏名：太 田 宏

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：液状化被害の損失評価法に関する基礎的研究

—東北地方太平洋沖地震による浦安市の液状化地盤の被害に基づく事例研究—

日本において地盤の液状化は、1964年新潟地震により生じた液状化による構造物の被害が甚大だったため、地盤および基礎関連における耐震設計上の重要な課題の一つとされてきた。その後、1987年の千葉県東方沖地震や1995年の兵庫県南部地震、2000年の鳥取県西部地震などの地震においても液状化被害が報告されており、特に兵庫県南部地震では都市部の埋立地において甚大な液状化被害が生じた。これらの液状化被害の調査結果に基づき、地盤、基礎関連の指針などで液状化が発生する危険度の予測法が提案されてきた。さらに2001年に改定された日本建築学会「建築基礎構造設計指針（2001）」では液状化が発生する危険度の予測法のみならず、液状化に伴う地盤変形を簡易に予測する手法も示されている。一方、液状化が生じた際は躯体被害や設備被害にとどまらず、噴砂などによる建物周辺のアプローチの被害や地盤の沈下による建物と周辺地盤に段差などの被害が予想され、上部構造の補修費用とは別にこれらの被害に対する補修費用が生じる。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、関東地方の埋立地を中心に液状化が生じたが、特に千葉県浦安市では甚大な液状化被害が生じ、浦安市内における被害額は300億円にも上っている。また浦安市をはじめとする各公共団体が公開されている液状化マップによると、埋立地以外の緩い砂地盤などにおいても強い地震動が入力されると液状化する可能性があるため、これらの地域においても液状化に伴った被害が懸念される。

地震による被害を予測する手法の一つとして地震リスク評価法があり、地震リスク評価法で扱われる指標の一つに地震予想最大損失（PML）がある。PMLは建物の耐震性能を表現する指標としても扱われる一方、地震による物的損失の被害額や再調達価格に対する被害額の割合であることが多い。したがって、PMLにより地震リスクを評価するためには、建物の補修費用について検討しておく必要がある。現状の建物の補修費用に関する研究および地震リスク評価法では、振動による建物および建築設備の物的損失を対象とした研究および評価法が多い。たとえば、諏訪・関は、1995年兵庫県南部地震により被災した建物の補修費用について調査を行い、各建物の所在地における最大地表面加速度と建物の躯体被害および設備の被害などを対象に各補修費用の関係について検討した。また、金子・神原は1995年兵庫県南部地震による建築設備の被害についてまとめ、地表面最大速度および震度と被害率の関係について示した。米国では1985年にATC（Applied Technology Council：応用技術協議会）がカリフォルニア地震による建築・土木構造物の被害をまとめ、建築・土木構造物の種類を詳細に分類し、各構造物の種類ごとにPMLなどの地震による物的損失の算出に用いる損失関数として示している。さらに近年では、FEMA（Federal Emergency Management Agency of the United States：アメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁）が地震や津波などの自然災害による被害の軽減、緊急時の対応およびその準備、復旧計画などを行う場合に必要となる災害リスクの評価法（HAZUS MR-4）を示している。この評価法では、施設の用途、建物規模、敷地条件などを詳細に分類し、施設の機能損失の程度を評価するとともにGIS（Geographic Information System：地理情報システム）を活用することにより、地域の経済的、社会的損失を評価することが出来る。一方、液状化に関するリスク評価においては近年ではGISを用いて250mメッシュによる微地形区分に基づいて過去の液状化履歴から各微地形区分の液状化危険度が示されている。また、地方自治体によっては液状化危険度の地図上で示し、液状化に対する情報公開および注意喚起を行っている。しかし、液状化および液状化に伴う被害による損失を定量的に評価した研究は少ない。

このような観点から、本研究は液状化による損失評価について検討を行うため2011年の東北地方太平洋沖地震により大規模な液状化被害を受けた千葉県浦安市における公共施設を対象に、各施設の被害状況について資料調査を行うとともに、各公共施設の補修費用などについて浦安市に対してヒアリング調査を行った。各施設の被害状況について液状化の程度との関連について検討を行うとともに、液状化による影響

が大きいと思われる外構の補修費用を液状化被害の損失として捉え、液状化の程度ごとに液状化被害の損失を算出する手法を提案した。提案した液状化被害の損失の算出法から算出される外構の補修費用と液状化対策工の工費の比較について、実際に液状化対策工が施工された事例を用いてケーススタディを行った。さらに、液状化被害の損失の算出法を用いて浦安市内の 3 地域を対象とした液状化被害の損失の比較を行った。

本論文は全 5 章で構成されている。

第 1 章「序論」では、地震損失評価に関する既往の研究および既往の評価手法についてまとめると共に、本研究の概要について示している。

第 2 章「液状化判定法の概要」では、本論文で提案する液状化被害の損失評価法において液状化の程度予測に用いる液状化判定について示している。本損失評価法で用いた液状化判定法としては主に建築分野で用いられる日本建築学会「建築基礎構造設計指針 (2001)」による方法および主に土木分野で用いられる岩崎・龍岡らによる方法であり、本章ではこの 2 つの方法についてまとめている。さらに、各判定法で得られる液状化による地盤の沈下量の予測値および液状化指数の関係に関する既往の研究についてもまとめるとともに、2011 年の東北地方太平洋沖地震の際に生じた液状化被害と各予測法の対応を検討した既往の知見についても示している。

第 3 章「液状化被害における損失評価法の提案」では、本論文で提案する液状化被害の損失評価法を構成する液状化程度の分類、各液状化程度の分類における損失関数の提案、液状化被害の損失の評価フローを説明している。具体的には、最初に、外構の補修費用について統計的に検討するにあたり、2011 年の東北地方太平洋沖地震による千葉県浦安市の公共施設を対象に行った被害調査の結果について、各施設の総補修費用の約 8 割が外構の補修費用であったこと、液状化程度と建物外周面積当たりにおける外構の補修費用に正の相関がみられたことを示した。つぎに、液状化被害の損失評価法で用いる液状化被害の損失関数を求めるため、日本建築学会「建築基礎構造設計指針 (2001)」に示されている地表面動的変位 D_{cy} による液状化の程度の分類および岩崎・龍岡らにより示されている液状化指数 P_L による液状化の程度の分類を参考に、液状化程度を 3 分類に分け、建物外周面積当たりにおける外構の補修費用を確率変数とした確率分布モデルを評価した。なお、確率分布モデルとして用いる理論モデルは正の領域にのみ分布する対数正規分布モデルおよびガンマ分布モデルであり、液状化程度の各分類における確率分布のパラメータを推定した。推定したパラメータを用いた確率分布モデルと実測沈下量に基づいた液状化程度の分類における累積相対度数分布との比較および検定 (K-S 検定) を行った。最後に、現行の液状化判定法および液状化程度の各分類における確率分布モデルを用いた液状化被害の損失評価法について示している。

第 4 章「液状化被害における損失評価法の適用性の検討」では、第 3 章で提案した液状化被害の損失評価法を用いて、千葉県浦安市入船および東京都江東区辰巳を対象とした液状化対策の費用対効果の検討および浦安市内の 3 地域を対象とした液状化による損失評価の適用事例について示す。その結果、本損失評価法を用いた液状化対策の費用対効果に関する検討および液状化被害のリスク評価としての有用性を示した。

第 5 章「結論」では、本研究の総括を行っている。