

機関番号：53101  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：平成 20 年度～平成 22 年度  
 課題番号：20560468  
 研究課題名(和文) 液状化被害データベースに基づく宅地の液状化防止方法と耐液状化基礎の開発  
 研究課題名(英文) Development of countermeasure against liquefaction and liquefaction-resistant foundation  
 研究代表者  
 尾上 篤生 (ONOUE ATSUGO)  
 長岡工業高等専門学校・環境都市工学科・特任教授  
 研究者番号：70332004

研究成果の概要(和文)：地震時の地盤の液状化による建物の傾斜と基礎の不同沈下、および使用限界の関係を調べた。液状化した地盤の地下水位について、季節変動量や降雨との関係を明らかにした。液状化によって大きな被害を受けた家屋と、液状化対策のお陰で被害を免れた家屋の数値解析的ケーススタディの援用を得て、地震時に地盤が液状化しないための地盤改良工法や、地盤が液状化しても建物が傾斜せず不同沈下しないための基礎の選定方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Relationship between the inclination and the uneven settlement of house were investigated and their minimum numbers for which repair of the house is required to keep living were made clear based on the form survey regarding many houses damaged due to liquefaction of soil. It was also made clear that the seasonal fluctuations of groundwater table were similar to the change of monthly precipitation. Effects of several countermeasures against liquefaction were discussed through the actual case studies and the numerical analyses. Based on these evaluations of various countermeasures, effective soil improvement methods and liquefaction-resistant foundations were presented.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
21 年度	900,000	270,000	1,170,000
22 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤防災、液状化、地下水位低下、表層改良、柱状改良、ベタ基礎、被災度

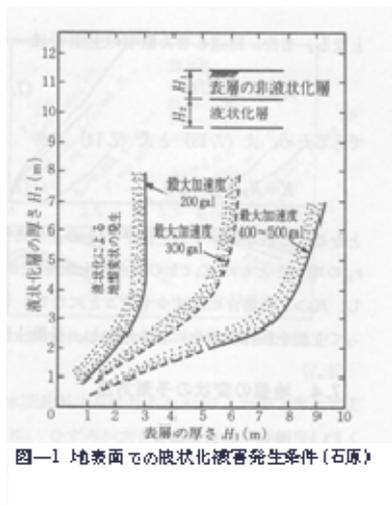
#### 1. 研究開始当初の背景

##### (1) 液状化対策の既往の研究

地震国である我国では、締固め・固化・排水・せん断変形抑制など、様々な液状化対策が開発されてきた。市街地の小規模宅地向けにも、ドレーンパイプ・表層固化・柱状改良・水平排水暗渠工法などが開発されてきたが、特に宅地に関

しては地盤条件や地形条件に照らした適否判断をせず、明確な設計法無しに施工されてきた。図-1 は、液状化層厚と地表面の非液状化層厚の比から、対策の要否を判断する拠り所として、今日なお参照される石原の図であるが漠然としたもので、対策の選定や設計・評価に使

える図とは言い難い。



(2) 定量的被害データの欠如と検証機会の喪失

1995 年阪神淡路大震災で被災した幾つかの護岸や橋台を除けば、1983 年日本海中部地震や 2004 年中越地震直後の液状化被害調査も定性的な目視踏査に留まり、宅地の定量的変状データは残されておらず、住宅基礎被害に関する正確な資料収集の好機を逃した。このために、実験や解析で液状化対策は提案されても現実との照査が欠落し、宅地の液状化対策の有効性及各種基礎の効果は検証されておらず、それらの妥当性は明確でなかった。

(3) 緊急かつニーズの大なる課題

このような状況の中、2004年中越地震で壊滅的被害を受けた多数の宅地/家屋が再び2007年新潟県中越沖地震で甚大な液状化被害を蒙り、またも教訓が生かされなかった写真一 1 に例示するような液状化被害を受けた宅地と基礎が残っている間に、学術・技術上の定量的データを収集することは緊急の課題である。特に中越沖地震による被害家屋の中には、中越地震後の復旧で液状化対策や基礎工法が採用されたも

の(例、写真一 2)と無対策のものがあり、液状化対策の定量的効果を検証できる。また耐液状化基礎は、家屋再建に向けた被災者らのニーズが極めて高く、将来的に震災復旧のマニュアルになると期待される。



写真一 1 2007 年新潟県中越沖地震による液状化被害例



写真二 2 2007 年新潟県中越沖地震で液状化被害を免れた例

(4) 本研究に向けた事前準備

研究代表者らを含む研究者集団は、下記の調査を行った。本研究はその結果の一部を踏まえて実施する。

- ①地震によって液状化した宅地 90 箇所ですウンディング地盤調査と地下水位調査。
- ②上記宅地と家屋の被害状況についてのヒアリング調査、および地震前後の地形調査。

2. 研究の目的

2007 年新潟県中越沖地震によって全壊～半壊に至った家屋について、地盤の液状

化の有無と基礎の被害の関係を実態調査し、液状化に関する数値解析の援用を得て、宅地の液状化対策最適選定方法を提案し、液状化で壊れない低コストの住宅基礎を開発する。



図一2 液状化被害調査地域



写真一3 液状化被害調査と地盤のサウンディング調査事例



写真一4 基礎の被害調査

## 2. 研究の方法

(1) 図一2に示す2007年中越沖地震による液状化被災7地域において、既実施した90件以上の宅地・家屋の液状化被害調査と地盤のサウンディング調査(一例、写真一3)結果を整理(一例、図一3、図一4中のN値深度分布)する。

(2) 標準貫入試験を行って液状化層を特定し、不攪乱試料を採取して液状化試験を行い、液状化数値解析の入力データを求める。

(3) これらと並行して、10~15軒程度の住宅の解体・ジャッキアップ時に宅地と基礎の変状・被害を定量的に調べる(一例、写真一4)とともに、宅地の傾斜と周辺の斜面等の地形測量(図一3、図一4)を行って解析領域と基礎をモデル化する。

(4) 次いで、宅地と基礎の変状に関する各種解析結果を実測値と比較し、各々の解析の妥当性を検証する。

(5) 妥当と考えられる解手法を用いて、地盤の液状化防止工法・耐液状化基礎のいずれか、あるいはこれらの組み合わせによる液状化対策の最適選定方法と耐液状化基礎の設計・施工方法を提案する。

## 3. 研究成果

(1) 2007年新潟県中越地震で液状化した多数の宅地上の家屋被害調査結果をまとめ、そのうち39家屋の建替え・ジャッキアップ時に基礎の被害を測量するとともに、スウェーデン式サウンディングによる地盤調査を行って砂地盤の強度・密度・液状化層を明らかにした。

(2) 刈羽村稲場と柏崎市山本団地において地盤の標準貫入試験と砂の不攪乱試料採取・液状化強度試験を実施し、スウェーデン式サウンディング結果と比較して、個々

の宅地における地層構成と液状化層を特定した。

(3)既往資料と新規測量から地震前後の宅地の変状量を定量化し、数値解析によって再現した。その結果、地盤改良と地下水位低下工法の効果を数値的に再現可能であることが分かった。

(4)刈羽村と柏崎市の7地域 24箇所にて地下水位計を設置し、地震後3年間の水位変動を測定して降雨量との関係を調べた。その結果、地下水位は降雨量の影響を1ヶ月遅れ程度で受け、季節的に変動することが分かった。その季節変動量は場所や地形によって0.3m~1.0m程度であることが分かった。その結果、液状化を予測する場合は、多雨(多雪)期の水位に基づくべきであることが推奨された。

(5)2004年新潟県中越地震で、地盤の液状化に起因する地すべりが発生した旧山古志村尼谷地地区の地すべりを例として、繰り返し載荷による土の強度低下を考慮した修正Newmark法によって実際の地すべり量を再現した。その結果、この方法は地すべり量を予測する簡便な方法として有効であることが分かった。

(6)液状化被害の程度と地下水位との関係、損傷した基礎の被災度(凹凸度)とPL値(液状化指数)との関係等を調べた。その結果、地下水位が浅いほど、PL値が大きいほど液状化被害の程度は著しく、凹凸度が大きくなることが実証された。

(7)被害家屋のうち、液状化無対策宅地および有対策宅地の地盤変状を、数値解析と実測値との比較を行って検証した。その結果、液状化対策を行っていない宅地が液状化に起因する斜面崩壊を誘発したのに対し、地下水位低下・杭基礎・浅層地盤改良を実施した宅地の変状が僅かであることが解析的

に実証された。

(8)地震後に排水暗渠による地下水位低下工法を施工した住宅地における、水位低下の効果を長期観測し、本管と枝管の適切な間隔・埋設深度などのデータが得られた。

(9)柱状改良・小口径鋼管杭などの支持杭を持つ家屋の液状化被害程度が小さいことが分かった。これに基づいて、液状化対策工法と耐液状化基礎の提案、および選定フロー作成の見通しがついた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

- ① 尾上篤生: 2004年新潟県中越地震と2007年新潟県中越沖地震に学ぶ, 地盤工学会誌, 査読有り, 59巻2号, 2011, 16-19
- ② Atsuo Onoue: Time Histories of Groundwater Level at Residential Lands Which Liquefied due to the 2007 Off Mid-Niigata Earthquake, 4th Japan-Taiwan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquake and Heavy Rainfalls, 査読有り, 2010, 25-28
- ③ Atsuo ONOUE, et.al.: Review of topographic and soil conditions for liquefaction related damage induced by the 2007 Off Mid-Niigata earthquake, Soils and Foundations, 査読有り, Vol.51, No.3, 2011, 掲載決定
- ④ A. Onoue, S. Yasuda, H. Toyota, T. Inotsume, H. Kiku, S. Yamada, Y. Hosaka, Y. Tsukamoto, I. Towhata, A. Wakai and K. Ugai: Review of

- topographic and soil conditions for liquefaction related damage induced by the 2007 Off Mid-Niigata earthquake, soils and foundations, 2011.6 搭載決定
- ⑤ Atsuo ONOUE: Characterization of slope failures during the 2004 Niigata-ken Chuetsu-Oki Earthquake, International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering - from case history to practice —, 査読有り, 2009, 483-490
- ⑥ ONOUE Atsuo, Junichi ONDA: Mechanism and Sliding Distance of Earthquake-Induced Amayachi Landslide Estimated by Modified Newmark Method, Joint Conference Proceedings, The 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering and the 5th International Conference, World Conference on Earthquake Engineering, 査読有り, 2010, 353-356
- ⑦ 蔡飛、鵜飼恵三、若井明彦、渡邊健太郎、尾上篤生、黒田清一郎、樋口邦弘: 中越沖地震時における液状化による家屋被害の事例解析, 降雨と地震に対する斜面崩壊機構と安定性評価に関するシンポジウム論文集, 査読有り, 2009, 315-320
- ⑧ Atsuo ONOUE, Hirofumi TOYOTA: Damage induced by the Niigataken Chuetsu-oki, Japan, Earthquake in 2007, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 査読有り, 2008, Paper ID: S26-015
- ⑨ Atsuo ONOUE: Characteristics of liquefaction induced damage to house and quantified degree of damage, International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering — from case history to practice —, 査読有り, 2009, 483-490
- ⑩ 尾上篤生: 中越沖地震による宅地および基礎の被害と液状化被害の特徴, 基礎工, 2008, 69-75
- [学会発表] (計 8 件)
- ① 尾上篤生, 若月洋輔, 若林英昭, 西 信衛: 2007 年中越沖地震で液状化した宅地の地下水位経時変化について, 第 45 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2010, 松山
- ② 関孝文, 尾上篤生, 蔡飛: 中越沖地震で液状化した地盤の変形に関する解析的再現, 第 28 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 2010, 長岡
- ③ 尾上篤生, 猪爪高見: 2007 年中越沖地震による液状化被害と課題, 土木学会平成 20 年度全国大会研究討論会資料, 2009, 仙台
- ④ 猪爪高見, 尾上篤生, 塚本良道, 上村宏允: 2007 中越沖地震による宅地の液状化—松波 2 丁目の被害—, 第 43 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2008, 広島国際会議場
- ⑤ 尾上篤生, 猪爪高見, 塚本良道, 金丸太郎: 2007 中越沖地震による宅地の液状化—松波 2 丁目の被害—, 第 43 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2008, 広島国際会議場
- ⑥ 尾上篤生, 猪爪高見, 鵜飼恵三, 若井明彦: 2007 中越沖地震による宅地の液状化被害と地盤—大字山本と長崎—,

第 43 回地盤工学研究発表会講演概要集, 広島国際会議場

- ⑦ 尾上篤生, 猪爪高見, 地盤工学会中越沖地震緊急調査団 SWS 調査チーム: 2007 中越沖地震による宅地の液状化被害調査結果について, 第 43 回地盤工学研究発表会講演概要集,2008, 広島国際会議場
- ⑧ 尾上篤生: 地震時の斜面崩壊と液状化被害に学ぶ, 第 47 回日本地すべり学会研究発表会講演集,2008,箱根

[図書] (計 1 件)

- ① 地盤工学会 2007 年中越沖地震災害調査委員会, 地盤工学会, 2007 年新潟県中越沖地震災害調査報告書,2009,650 ページ (委員長: 尾上篤生)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

尾上 篤生 (ONOU E ATSUO)

長岡工業高等専門学校・環境都市工学科・特任教授

研究者番号: 70332004

### (2)研究分担者

岩波 基 (IWANAMI MOTOI)

長岡工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号: 90435420