

氏 名	郷 たか ゆき 隆 之
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2943 号
学位授与の日付	平 成 17 年 7 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 地 球 惑 星 科 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	強震時の間隙水圧上昇による飽和-不飽和地盤の不安定化機構

論文調査委員	(主 査) 助教授 釜 井 俊 孝 教 授 橋 本 学 教 授 千 木 良 雅 弘
--------	---

論 文 内 容 の 要 旨

地表部に広く形成されている飽和 - 不飽和地盤, すなわち大部分の現世堆積物においては, 地震時における間隙水圧の変化が堆積物の変形や破壊現象を支配する主要な要因である。しかし, こうした間隙水圧の変化と強震動との関係を実際に極軟弱な地盤において観測した例は少なく, 地盤の挙動が線形から非線形に移り変わる部分については未解明な部分が残されている。そこで, これらの事象が典型的に現れる丘陵地の谷埋め盛土地盤において現地調査と現地観測を行い, その地盤条件を模擬した大型振動台模型実験によって非線形領域の挙動を検討して, 強震動と間隙水圧変化の関係を定量的に明らかにした。

1 章では, 過去に強震動による地盤の変形・破壊現象が顕著に認められた地域において, 詳細な現地調査を実施した結果を述べている。すなわち, 1995年兵庫県南部地震及び2003年宮城県沖地震の被害地域において, 多くの高精度表面波探査及び小型動的コーン貫入試験を実施し, 2 次元的な地盤構造から, 被害が発生した地点に共通する特徴的な地盤構造と地下水状況を確認した。すなわち, 顕著な地盤変形が見られた地点は, N 値が 5 以下, S 波速度が 160m/s 以下の非常に軟弱な地盤, すなわち谷埋め盛土であり, 水で飽和された帯水層が連続して形成されていることが判明した。

2 章では, 和歌山市内で行った地震動, 間隙水圧, 地下水位の長期間同時連続観測の結果について述べている。2004年紀伊半島南東沖で発生した一連の地震活動の記録から, 応力 - ひずみ関係が線形弾性の範囲にある場合には間隙弾性体理論から予想されるように, 直接 P 波及び SV-P 変換波による体積ひずみに応答する間隙水圧が発生し, その上昇率は周波数に依らずほぼ一定となることを明らかにした。一方, ひずみレベルが非線形弾性範囲 (10^{-4} - 10^{-3} オーダ) に達すると, SH 波に起因する負のダイレイタンスーによる残留間隙水圧が発生し, 同時に体積ひずみに応答する間隙水圧も SV-P 変換波により発生する。両者の振幅には大きな違いが認められず, 両者はそれぞれ地動速度のおよそ 1.7-2 乗に比例して増大する。地動速度の増加に伴う飽和 - 不飽和地盤の液状化プロセスは, これら線形 - 非線形弾性範囲での地動速度と間隙水圧間の経験式により表現することが出来る。この経験式を用いると観測地点で完全液状化が発生する地動速度レベルは 15 - 28cm/s となり, 妥当性のある値となることを示した。

3 章では, 大型振動台模型実験により, 谷埋め盛土地盤の液状化と変形について検討した結果を述べている。永久変位量は, 飽和層厚と全盛土地盤厚の比が 0.2 以上 0.5 以下の場合, 顕著な違いは認められない。このことから, 比較的薄い飽和層であっても, 観測結果から予測されるような地動速度レベルによって液状化が発生し, 大きな永久変位量に到達しうることが明らかにされた。また, 永久変位量は, 地盤の幅/厚さ比が 13 以上 (実地盤の幅が 22m で, 厚さが 1.7m 以下) になると急激に小さくなり, 飽和層の有無に関係なく極端に薄い地盤では, 自重と加振によるせん断力がせん断抵抗力 (静止摩擦係数) よりも大きくなれず, 永久変位が発生しないことを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

本論文は、地表部の飽和 - 不飽和地盤における強震動と間隙水圧変化との関係を、現地調査、観測、及び大型模型実験により定量的に論じたものである。地表部に広く分布する現世堆積物では、地震時における間隙水圧の変化が堆積物の変形や破壊現象を支配する主要な要因であるとして注目されてきた。しかし、こうした間隙水圧の変化と強震動との関係を実際に極軟弱な地表部において観測した例はあまり見られない。特に、地盤の挙動が線形から非線形に移り変わる部分については観測データがほとんど無いため、軟弱な地層における間隙水圧応答に関して、波動論的な検討はほとんど行われてこなかった。

申請者は、まずこれらの事象が典型的に見られる丘陵地の谷埋め盛土地盤において現地調査を行い、多くの地点において高精度表面波探査及び小型動的コーン貫入試験を実施し、2次元的な地盤構造から、被害が発生した地点に共通する特徴的な地盤構造と地下水状況を明らかにした。対象地域は、1995年兵庫県南部地震及び2003年宮城県沖地震によって、現実に関隙水圧の上昇による地盤変形・破壊の痕跡が広く分布している地域である。

次に申請者は、和歌山市内で行った地震動、間隙水圧、地下水位の長期間同時連続観測の結果から、地動速度とそれに対する間隙水圧応答の関係を明らかにした。さらに、他観測点のデータを考慮することにより地動速度の増加に伴い飽和 - 不飽和地盤が液状化に至る不安定化プロセスを検討し、液状化予測の新たな手法を提案している。すなわち、2004年紀伊半島南東沖で発生した一連の地震活動の記録から、応力 - ひずみ関係が線形弾性の範囲にある場合には、体積ひずみに応答する間隙水圧が発生し、その上昇率は周波数に依らずほぼ一定である。一方、ひずみレベルが非線形弾性範囲においても、体積ひずみに応答する間隙水圧とSH波に起因する残留間隙水圧の振幅には大きな違いが認められず、両者はそれぞれ地動速度のおよそ1.7-2乗に比例して増大することを示した。これにより得られた地動速度と間隙水圧間の経験式を用いると、観測地点で完全液状化が発生する地動速度レベルは15-28cm/sとなり、ほぼ妥当な値となることを示した。

さらに申請者は、大型振動台模型実験により、非線形弾性範囲における地盤の液状化と変形について検討した。永久変位量は飽和層の厚さによらず一定であることから、比較的薄い飽和層であっても観測結果から予測されるような地動速度レベルによって液状化が発生し、大きな永久変位量に到達しうることが明らかにされた。また、飽和層の有無に関係なく極端に薄い地盤では、自重と加振によるせん断力がせん断抵抗力（静止摩擦係数）よりも大きくなれず、永久変位が発生しないことを明らかにした。

以上の成果は、本研究で行った現地調査、現地観測及び大型振動台模型実験によって初めて明らかにされたものであり、地表部における軟弱層の破壊現象を解明するための基礎的情報であると同時に、防災的観点からも価値の高い成果であると言える。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。