

学位論文審査の結果の要旨

氏 名	Narayan Prasad Marasini
審査委員	主査 岡村 未対 副査 矢田部龍一 副査 安原 英明 副査 渦岡 良介

論 文 名 Investigation of soil liquefaction in Kathmandu valley and remediation on existing structures using desaturation by air-injection technique

審査結果の要旨

地震による地盤の液状化は社会インフラに甚大な被害を及ぼす。液状化の発生は日本や米国で開発された液状化判定法を用いて行われている。しかしながら、土を構成する鉱物や堆積環境、堆積後の時間経過による膠着等が地域によって大きく異なるため、液状化の発生を予測する液状化判定法の適用範囲は必ずしも明らかでない。また、液状化の危険性が高いと判定された地盤に対する液状化対策工事は一部の先進国を除きほとんど行われておらず、その理由は液状化対策工法の施工に莫大な費用を要することである。

ネパールの首都カトマンズは、約 6000 年前までに形成された湖成堆積土で構成されている。地盤堆積環境は日本の沖積地盤とは大きく異なり、また雲母等の独特の鉱物を多く含むなど独特の土質力学特性を持つ土である。ネパールは地震国であり、過去の地震でもカトマンズでは液状化が発生し大きな被害が発生した。そこで本研究では、カトマンズの地盤特性を、特に液状化強度特性の面から明らかにし、既存の液状化判定法のカトマンズ砂への適用性を検討すると共に、それに適した液状化判定法を開発する。また、ネパールのような発展途上国においても適用できる経済性に優れた液状化対策工法として、空気を注入して地盤を不飽和化する工法の既存構造物への適用性についても検討することを目的としている。この工法は、土の飽和度を低下させて不飽和化することにより液状化強度を増加させる工法であり、既存他工法の 1/50 まで費用を削減できているが、低層建築物や比較的小規模で軽量の構造物直下地盤への適用性が未だ力学的に解明されていない。また、地盤に空気を注入し土を一旦不飽和化し後の土中空氣の存続性について検討し、予測法を考案した。

本論文の第 3 章では、カトマンズ盆地内で行われた既往のボーリング調査結果を収集・解析し、カトマンズの表層地盤特性を検討した。続いて、2015 年 4 月に発生したネパール大地震において発生した液状化地点を現地踏査により詳細に調べ、液状化地点及び非液状化地点において原位置試験（標準貫入試験・PS 検層）を行った。さらに、原位置調査地点において採取した攪乱試料を用い再構成した供試体を用いて三軸液状化試験、動的変形試験を行った。

その結果、雲母鉱物を多く含む湖成堆積砂の液状化強度や弾性波速度、および原位置試験から得られる貫入抵抗値は、これまで多く研究が成されてきた日本を含む東南アジアの沖積土や米国の土と大きく異なることを明らかにした。カトマンズの地盤に既往の液状化判定法を用いると過剰に安全側の判定となるため、カトマンズの土の力学特性を考慮した新たな判定法を構築した。

第4章では、歴史的建造物や世界遺産が多く存在するカトマンズ市内の液状化対策について、経済的に有利な空気注入による不飽和化工法の適用性を研究した。実地盤の応力状態を小型模型内に再現できる動的遠心模型実験を実施し、低層で設定圧の比較的小さい構造物直下を不飽和対策することによる動的応答の変化を詳細に計測し、地盤の過剰間隙水圧抑制効果や水圧伝播特性を調べるとともに構造物の沈下抑制メカニズムを明らかにした。第5章では有効応力解析法(LIQCA2D)を用い、動的遠心模型実験を対象とした動的解析を行った。それによって不飽和化地盤上の軽量構造物の地震時沈下量を精度良く評価できることを示すとともに、実験では観察できなかった微小な土の体積変化特性と発生する過剰間隙水圧の関係も明らかにした。

第5章では、一旦不飽和化した地盤の飽和度の経時的変化を検討した。現地観測や模型実験で明らかとなった飽和度の変化メカニズム、すなわち地盤内の空気が地下水流に溶解することによる飽和度変化を気液二相流解析法により解析した。その結果、およそ土中の飽和度は20～50年間維持されることを明らかにした。

第6章では、2章から5章までの総括をしている

以上のように、本論文は含まれる鉱物により液状化強度が大きく異なることとそのメカニズムを明らかにすると共に、実務に適用できる液状化判定法を提案した。さらに既存の比較的軽量な構造物に対し、技術的及び経済的に適応しうる液状化対策工法とそのメカニズムを解明し、さらには不飽和状態の長期存続性の評価法も提案しており、学術的・実務的に優れ、新規性と実用性・有用性のある内容である。

これより、審査委員全員一致して合格であると判断した。