

審査の結果の要旨

氏名 タン・ティアン ジェイロート ウイ

本論文は、「Characterization of Liquefaction and Seepage Properties under Different Saturation Conditions of Bauxite During Maritime Transport (船積みボーキサイトの異なる飽和条件下における液状化特性と透水特性の評価)」と題した英文の論文である。

1988年から2015年にわたる期間において、固体ばら積み貨物を輸送中の計24隻の船舶で、飽和したゆるい砂地盤で地震時等に生じることが知られている液状化現象と同等の現象が発生したと考えられており、164名が死亡し、18隻が沈没したことが報告されている。特に、アルミニウム製品の原料となるボーキサイトについても、これを輸送中の貨物船が2015年に転覆したため、その原因調査等が国際海事機関などにより実施されている。しかしながら、積み込み後のボーキサイトが長期間に及ぶ海上輸送過程においてどのような含水状態の変化を示し、さらに荒天で船が大きく動揺した際にどのような挙動を示すかは十分には明らかになっていない。

以上の背景のもとで、本研究では、ボーキサイトの上記挙動に関わる地盤工学的な特性として液状化特性と透水性に着目した検討を実施している。これらの特性を高精度な室内土質試験で計測したうえで、その結果を反映させた浸透解析と動的応答解析を行い、船積みボーキサイトにおける液状化の発生条件を評価している。

第一章では、研究の背景と既往の事故事例およびこれに関連する学術的知見の概要を整理したうえで本研究の目的を設定し、論文全体の内容と構成について説明している。

第二章では、研究の対象としたボーキサイト材料と、比較のために用いた鉄鉱石粉および2種類の砂質土の粒度分布や粒子比重などの物理的性質について記述している。

第三章では、飽和状態及びいくつかの不飽和状態で実施した非排水繰返し三軸試験の結果を、そのために用いた試験装置および試験方法の詳細と合わせて記述している。同試験により得られたボーキサイトの液状化特性は、特に間隙に空気が混入して不飽和状態となることによる強度増加率に関して、細粒分を

有し粒度分布が比較的近い稲城砂および鉄鉱石粉と類似していることを明らかにしている。さらに、不飽和状態での液状化中の間隙空気圧の増加に起因する体積圧縮特性と有効応力の低下に起因する体積膨張特性を同時に考慮することで、細粒分がなく粒度分布が異なる豊浦砂も含めた不飽和状態での液状化強度の増加傾向を統一的に評価できることを示している。

第四章では、透水性と保水性の計測結果を記述している。特に透水試験では、不飽和状態での透水計測を拘束圧下で精度良く計測するために、三軸試験の供試体内の2箇所を局所的に間隙水圧を測定する手法を新たに開発している。飽和状態で同様な局所計測を行って得られた透水係数が、従来手法による計測値と整合していることを確認したうえで、いくつかの不飽和状態における局所計測も実施している。これらの結果として、飽和度の低下に伴うボーキサイトの透水係数の変化率は、稲城砂の特性とほぼ一致し、鉄鉱石粉とは異なることを明らかにしている。

第五章では、2015年に転覆した貨物船内と同様な形状に船積みされたボーキサイトを対象とした浸透解析の結果を記述している。保水性と透水性を第四章で記述した試験結果に基づいて設定することで、積み込み時の含水状態と密度が異なる条件下における、長期輸送中の含水状態の変化挙動と、積荷の下部に出現する飽和領域の範囲を明らかにしている。

第六章では、第五章と同一の初期状態で船積みされたボーキサイトが、長期輸送後の荒天時に船舶のロッキング挙動に起因する繰返し荷重を受ける場合を想定して実施した動的解析の結果を記述している。第三章で記述した飽和・不飽和状態での液状化試験結果と第五章で記述した浸透解析結果に基づいて積荷内での液状化強度の分布を設定し、最小5度から最大30度までの異なる繰返し傾斜荷重を受けた場合の液状化の発生条件と、これに及ぼす積み込み時の含水状態および密度の影響を明らかにしている。また、積荷の上部に残る不飽和領域の透水性と液状化特性を適切に考慮しないと、荒天時の液状化発生状況を危険側に評価してしまうことを示している。

第七章では、本研究で得られた結論をまとめ、今後の課題を整理している。

以上をまとめると、本研究では、新たに開発した計測手法を一部で活用しながらボーキサイトの液状化特性と透水性および保水性を系統的な室内土質試験により明らかにし、さらに、これらの試験結果を用いた数値解析を適切に実施することにより、船積みボーキサイトの長期輸送過程における含水状態の変化挙動と荒天時の液状化発生の有無の評価が可能であることを示している。このことは地盤工学の進歩への重要な貢献である。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。