

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 アルベルト エルナンデス ヨランダ

本論文は、” Undrained behavior of sand with non-plastic silt and its application to ground deformation analysis s”と題し、地盤耐震工学における災害軽減技術の開発を目的とした研究の報告である。その内容は、2011年の大震災において東京湾沿岸の埋め立て地に大被害をもたらした非塑性シルト混じりの砂の液状化現象の実態解明である。1960年代後半から始まった地震時の地盤液状化災害の研究は当初、液状化とは細かい泥分を含まないクリーンな砂の現象と考えていた。そのうち事例が増え、75ミクロン以下の細粒分(泥分)を含む砂も研究対象とはなったものの、この泥分とは粘土科学の対象となるような微細粒子であり、粒子間に電氣的な力が作用するような物質が想定されていた。しかし2000年代に入って、同じ75ミクロン以下ではあっても泥分よりはるかに大きくてシリカ質の結晶にすぎない、つまり電氣的な力のやり取りを持たない粒子(非塑性シルト)を多量に含む砂の液状化が、各地の埋め立て地盤で報告されるようになり、その液状化抵抗力の評価が工学的に重要となった。同じ問題は世界的に着目され、研究例も少なくない。しかしそれらは、非塑性シルト含有率が増えるにつれて液状化抵抗力が増える、増えない、減るなどバラバラの結果を示しており、なぜそのように異なる結果が得られたのか、そして真実はどうであるのか、を解明する必要があった。本論文は、そのような目的で行われた研究の成果である。

本論文は9章からなっている。以下、それぞれの内容を説明する。

第1章は、上述のように非塑性シルト混じりの砂の液状化危険度について既往の研究では全く相反する結果が報告されていることを述べ、研究の目的と位置づけを簡潔に説明している。

第2章では、2011年の東京湾沿岸埋め立て地で発生した液状化を概括し、同じころにニュージーランドのクライストチャーチ市内外でも同様の非塑性シルト混じりの砂の液状化が起こったことを説明している。

第3章は既往研究のレビューである。上述したような結論の相違の原因を議論し、非塑性シルト含有量を変化させて実験を繰り返す時、他のどのようなパラメータを一定に保つか、その選択によって結果が異なっていることを示した。乾燥密度、相対密度、間隙比等選択するパラメータによって結果が正反対にもなる。

本研究では、東京湾沿岸で液状化した砂を採取して非塑性シルト含有率を

様々に変えた試験体を準備し、非排水状態の中空ねじりせん断実験によって液状化を再現し、それぞれの試験体の液状化抵抗を測定した。第4章ではその実験方法を説明している。

第5章は、実験結果の紹介と考察である。上述したように、試験体のパラメータの何を一定に保つかによって結果に大差を生ずることが見出されている。そこで本研究では乾燥密度や間隙比のような物質量パラメータではなく、自然界の地盤形成過程を考慮して、非塑性シルト混じり砂の堆積エネルギーを一定に保つこととした。具体的には、空気中を自由落下させて砂が堆積するとき、その落下高さ（重力エネルギー）を一定に保つのである。落下高さとしては5cmと50cmの二通りを採用した。実験は非排水せん断で行い、単調載荷と繰り返し載荷液状化実験とがある。それらの結果によると、75ミクロン以上の砂に対して非塑性シルトが含まれる率（質量で定義、細粒分含有率FCと呼ぶ）がおおよそ20%以下の時、FCの増加とともに液状化が起こりやすくなる。しかしこれを越えてFCが50%程度に増える過程では、液状化抵抗は若干増加する。そしてFCが60から80%に増えるとき、一度低下した液状化抵抗は再度微増する。ただし全体を通じて言えば、FC=0%の砂がもっとも液状化しにくく、非塑性シルトを含む砂はこれに比べて液状化しやすい。そしてFCの範囲によって挙動の変化が起こることについて、FCの小さいときは細粒分が砂粒子のすき間を埋めるだけである、FCがやや増えると細粒分が砂粒子の接点に入り込む、さらにFCが増えると砂粒子が細粒分の中に浮かんだ状態になって全体挙動は細粒分によって支配される、という解釈を示した。

堆積時のエネルギーによる考察に加え、実務を考慮した考察も行った。実務においては標準貫入試験によって地盤の固さ（力学的特性）を測定して液状化に対する抵抗を推定し、さらに細粒分含有率を考慮してこれを修正する。この修正過程で非塑性シルトの含有率をどのように考慮すべきか、という視点に立てば、標準貫入抵抗一定でFCの異なる試験体を準備することが理想的である。しかし現場の実験を小型の実験用試験体の中で実施することはできない。そこで標準貫入抵抗と一対一の関係があると考えられる体積圧縮係数 m_v がほぼ一致する試験体を選び出し、その液状化抵抗を比較することにした。それによれば上述したことと同様、非塑性シルトを含まない試験体の液状化抵抗が最大であり、非塑性シルトの増加によって液状化抵抗は減少した。

第6章は、非塑性シルト混じり砂地盤の地震時変形予測法の研究である。地震荷重載荷時の試験体の剛性低下過程をひずみ振幅と関連付け、ひずみ振幅を液状化安全率と関係付ける実用的な方法があることから、剛性低下による斜面の側方変位や地表構造物の沈下などを、安全率→ひずみ振幅推定→低下した剛性→変位計算、という流れで推定する方法を示した。

第7章は既往の研究と本研究との相違の再評価である。

第8章は全体の結論、第9章は引用文献リストである。

以上をまとめると、本論文の研究は、液状化災害の軽減のために地盤・土の

抵抗力を正しく推定できるよう、せん断実験という手法によって非塑性シルトの含有量の影響を実験的に明らかにしたものであり、既往の研究の混乱の理由を明らかにするとともに正しい方向性を示したものである。したがってその成果は地盤耐震工学に新知識を加え、当該學術の発展への貢献が大きい。よって本論文は博士(工学)の學位請求論文として合格と認められる。