

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ルズベール ラスーリ

本論文は、”Experimental Study on Mitigation of Liquefaction-induced Settlement of Structures with Shallow Foundations”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年の東日本大震災における埋め立て地盤の液状化と住宅被害に鑑みて、既設の住宅基礎の強化技術について模型実験による研究を行ったものである。

本論文は10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、過去百年間の地震被害をとりあげ、本論文の対象である浅い基礎（杭基礎などをもたず、直下の土砂地盤に支えられる基礎）の液状化被害と修復の事例を記述している。そして研究の目的と位置づけを簡潔に説明している。

第2章は当該分野の文献調査であり、基礎地盤の液状化現象によって浅い基礎に起こった沈下の程度を、基礎の形状や地盤の性質という観点から、取りまとめた。そして幅の広い基礎ほど沈下が起こりにくいことが定説となっていることを示した。本論文では沈下に加えて傾斜も研究対象としているが、既往の研究では、傾斜は深く研究されてこなかったことも示された。

第3章は、重力場で行われた模型振動実験の方法を説明している。実験で使用する模型は実物に比べてはるかに小さいため、相似則と呼ばれる両者の関係構築が重要である。今回の実験では、模型を実物の20分の1寸法に設定し、柱状改良体の寸法や剛性、時間スケールなどの相似関係を決定した。さらに土かぶり応力の差異に起因する砂のダイレイタンスの違いを補正するため、実際よりゆる詰めな砂地盤を造成した。そして特に断らない限り地下水面は地表にある。

また、本研究では液状化地盤災害の基本メカニズムのひとつである側方流動対策として地中杭の実験も行ったので、その方法についての説明も記述されている。

既存の浅い基礎のために液状化対策を行う場合、基礎直下の土を直接締め固めたり固化させたりすることは、住宅上部構造に及ぼす悪影響のために、困難ないしは高価に過ぎると考えられる。そこでまず第4章では、浅い基礎の周囲に基盤まで届く地中矢板を設置する方法について、被害軽減効果を検討した。

矢板壁には基礎の液状化砂の側方流動を拘束し、それによって基礎自体の沈下を抑制する機能が期待されている。従った矢板の剛性が高く、端部の拘束が大きいほど、沈下抑制効果も高まるであろう。このことはおおむね実験的に確

かめることができた。しかし矢板壁と浅い基礎とを構造的に連結すると、常時のわずかな地盤沈下によっても構造物の自重が矢板基礎に作用して損傷を招く危険があり、両者の剛結は適切ではないと考えられた。その結果、矢板壁頂部と基礎とのすき間から液状化砂が噴出する危険が生まれ、過大な沈下が起こる場合があった。これを防ぐためには隙間に液状化しない土砂が詰まっていることが望ましいとされ、その実現のためには、地下水位を若干低下させることが有効であった。

また施工費用を下げるため、矢板の一枚おきに間引く方法や矢板を中途の深さまでしか打設しない方法も試みられた。しかし実験結果によると、これらはいずれも効果を激減させてしまった。

液状化の直接の効果は、土中の間隙水圧が上昇しすぎることである。そこで水圧を速やかに消散させることが、被害の軽減に有効である。この考え方を既設住宅の基礎に適用させるためには、地表の住宅を避けて斜め方向に水圧消散ドレーンパイプを挿入させることが有効と考えられた。そこで第5章の実験では、基礎周辺に鉛直にのみドレーンを設置、さらに液状化層底部に向かってゆるい斜め方向ドレーンを追加、さらに液状化層上部(基礎直下)に斜めドレーンを増設、そしてこれらすべてに加えて地下水位を低下、の4ケースについて、実験を行った。結果によると、基礎の沈下は上記4ケースの潤で軽減され、特に地下水位低下の効果が著しかった。

続いて基礎模型に偏心荷重を作用させ、傾斜の起こりやすい状況を設けて実験を継続した。結果によると、地下水位低下、ドレーンパイプ設置、矢板設置のいずれにも良い効果が見出された。

第6章は、補足的に行われた実験の考察である。実地盤と縮小模型実験との間の相似則の観点からは、模型地盤の間隙流体として水の代わりに粘性流体を使用することが重要とされている。そこで本章では粘性を水の5倍に増やした流体を用いて実験を行った。これにより液状化状態が長く続くようになり、より被害を大きくできると考えられたが、むしろ粘性による変形の抑制効果のほうが大きく、前章までの水を用いた実験のほうが厳しい状況を再現していたことが判明した。また、前章までの実験が二次元模型実験であったのに対して、本章では3次元模型実験も実施した。そして前章までの知見が妥当であることも確認された。

第7章では地盤流動抑制のために地中杭実験を説明している。これは、地盤全体をセメントとの混合で固結させる深層混合技術の費用削減を目指しているもので、従来の壁式混合よりもセメント量の少ない柱状改良の効果を高めるために、柱を不規則に配置して地盤流動を妨げようというものである。研究としては予備的な段階であるが、斜面の流動量が半分程度に減らせる可能性が示された。

第8章では、浅い基礎の沈下量を予測する解析的検討が説明されている。コンピュータによる複雑な数値解析が多用されている既存の研究とは異なり、こ

ここではポテンシャルエネルギー最小化の原理に基づく解析的な手法が用いられている。実務への応用を考えると、数値解析の専門的知識を要しない本手法のほうが優れており、また実験から得られた知見とも適合する結果が得られた。

第9章と10章では、全体のとりまとめと結論が示されている。

以上をまとめると、本論文の研究は、液状化災害の経済的軽減技術の開発と立証という目的を模型実験という手法によって実施したものであり、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。