

一方、粘性土は流動化しにくいために、粘性土の破壊が直接原因となっている被災事例が少ない。そのため、特に地盤の液状化問題に関しては、あまり問題視されなかった。しかし、1995 年兵庫県南部地震において、淀川堤防が堤防直下地盤の液状化によって被災した事例では、液状化層直下の軟弱な粘性土層が堤防の被災程度に大きく影響したと考えられる被災箇所があった。粘性土の硬軟は、圧密の進行度に依存しており、同じ種類の粘土でも圧密進行度の違いによって変形・強度特性が異なる。粘性土の硬軟は、粘性土上部に伝わる地震動増幅特性にも大きく影響することがわかっている。

これまで、多層地盤を対象とした動的解析では、粘性土に砂のモデルを準用した例が数多くある。しかし、軟弱な粘性土層が上部液状化層の液状化特性に影響を与えることを考慮すると、粘性土の変形・強度特性を適切に評価できる粘土のモデルと砂質土地盤の液状化特性を適切に評価できる砂のモデルを有効応力解析手法の中で用いる必要がある。これにより、より高精度な多層地盤の動的挙動予測が期待でき、地盤の動的特性を適切に評価できる。

そこで本研究では、粘性土の変形・強度特性を適切に評価できる粘土のモデルと砂質土地盤の液状化特性を適切に評価できる砂のモデルを導入した有効応力解析手法の適用性について検討する。そのために、各種室内試験を実施し、粘性土および砂質土の変形・強度特性について検討する。室内試験より得られた知見を基に、粘土のモデルで用いるパラメータの決定法について整理する。また、繰返しせん断初期の地盤のねばり挙動を評価できるように砂のモデルを高度化し、有効応力解析手法に導入する。高度化した有効応力解析手法を用いて、導入効果の検証解析を行う。また、事例に適用し、多層地盤における軟弱な粘性土層の液状化特性に与える影響について検討する。

本研究で得られた成果を述べる。

1) 実験的研究では、特に粘性土に着目して、粘性土の変形・強度特性を把握するための各種室内試験を実施した。粘性土の変形・強度特性をより明確にするため、砂質土による各種室内試験も実施した。その結果、載荷速度依存性を検討した試験では、粘性土特有の性質である載荷速度依存性を確認した。また、粘性土の動的問題として重要な盛土や堤防などの土木構造物直下地盤における粘性土の変形・強度特性について検証した試験では、水平地盤に比べ土木構造物直下地盤では鉛直変位が卓越することがわかった。また、その挙動は、地盤材料に依らないことが明らかとなった。

2) 本研究および既往の研究の載荷速度依存性を検討した試験を基に、粘土のモデル特有のパラメータ決定法を整理した。実験結果より得られるストレスとダイレイタンスの関係より、粘土のモデル特有のパラメータを整理した。その結果、粘土のモデル特有のパラメータに関して、平均的な値を得ることができた。

3) 有効応力解析手法では、砂のモデルについて、現在、定量的に過大評価である。繰返しせん断初期の過剰間隙水圧のねばり挙動に着目し、塑性ひずみ量に依存した新しい塑性剛性低減手法を用いて砂のモデルを高精度化した。高精度化した砂のモデルを有効応力解析手法に導入し、その適用性について検討した。その結果、繰返しせん断初期の過剰間隙水圧のねばり挙動を表現できた。

4) 粘性土の変形・強度特性を適切に評価できる粘土のモデルと砂質土地盤の液状化特性を適切に評価できる砂のモデルを導入した有効応力解析手法を用いて、神戸市ポートアイランドと同市六甲アイランドを対象に有効応力解析を実施した。この解析では、上部埋立層直下に位置する軟弱な沖積粘土層の圧密進行度をパラメータとして、沖積粘土層の圧密進行度が上部埋立層の液状化特性に与える影響について検討した。その結果、ポートアイランドにおいて、高精度化した砂のモデルは、上部埋立層の水平加速度の観測記録を良く再現した。六甲アイランドにおいて、沖積粘土層の圧密が進行中とした解析で、入力加速度が沖積粘土層で大きく減衰し、上部埋立層に伝わったことが確認できた。

以上より、多層地盤の液状化特性を評価する場合には、粘土層についても適切なモデルで適切にモデル化し、評価しなければならないことが明らかとなった。

論文審査結果の要旨

審査申請者は学位論文において、砂は砂特有の、粘土は粘土特有の構成式を適用した多層地盤の有効応力解析を行うことの重要性を示した。構成式を適用するにあたり、構成式の中のパラメータ取得のための実験を申請者自身が丁寧に行い、その成果についてまとめた。また、パラメータ取得方法の整理をし、取得したパラメータの信頼性を明らかにした。解析的研究分野では、砂の構成式に新たな塑性剛性低下手法を導入し、有効応力解析手法を高精度化した。一連の研究をもとに、震災を受けた神戸市ポートアイランド、六甲アイランドを実例として取り上げて有効応力解析を行った。その結果、以下の結論を得た。

1) 実験的研究では、特に粘性土に着目して、粘性土の変形・強度特性を把握するための各種室内試験を実施した。粘性土の変形・強度特性をより明確にするため、砂質土による各種室内試験も実施した。その結果、載荷速度依存性を検討した試験では、粘性土特有の性質である載荷速度依存性を確認した。また、粘性土の動的問題として重要な盛土や堤防などの土木構造物直下地盤における粘性土の変形・強度特性について検証した試験では、水平地盤に比べ土木構造物直下地盤では鉛直変位が卓越することがわかった。また、その挙動の傾向は、地盤材料に依らないことが明らかとなった。

2) 本研究および既往の研究の載荷速度依存性を検討した試験を基に、粘土のモデル特有のパラメータ決定法を整理した。実験結果より得られるストレスとダイレイタンスーの関係より、粘土のモデル特有のパラメータを整理した。その結果、粘土のモデル特有のパラメータに関して、平均的な値を得ることができた。

3) 有効応力解析手法では、砂のモデルについて、現在、定量的に過大評価である。繰返しせん断初期の過剰間隙水圧のねばり挙動に着目し、塑性ひずみ量に依存した新しい塑性剛性低減手法を用いて砂のモデルを高精度化した。高精度化した砂のモデルを有効応力解析手法に導入し、その適用性について検討した。その結果、繰返しせん断初期の過剰間隙水圧のねばり挙動を表現できた。

4) 粘性土の変形・強度特性を適切に評価できる粘土のモデルと砂質土地盤の液状化特性を適切に評価できる砂のモデルを導入した有効応力解析手法を用いて、神戸市ポートアイランドと同市六甲アイランドを対象に有効応力解析を実施した。この解析では、上部埋立層直下に位置する軟弱な沖積粘土層の圧密進行度をパラメータとして、沖積粘土層の圧密進行度が上部埋立層の液状化特性に与える影響について検討した。その結果、ポートアイランドにおいて、高精度化した砂のモデルは、上部埋立層の水平加速度の観測記録を良く再現した。六甲アイランドにおいて、沖積粘土層の圧密が進行中とした解析で、入力加速度が沖積粘土層で大きく減衰し、上部埋立層に伝わったことが確認できた。

以上より、多層地盤の液状化特性を評価する場合には、粘土層についても適切なモデルで適切にモデル化し、評価しなければならないことが明らかとなった。

以上が本研究の主な成果である。本研究では、丁寧な実験とそれより得られた結果に基づいたモデルの改良および改良モデルによる解析を一連の研究として行っている。その結果、多層地盤の液状化特性をより適切に評価できることを示している。しかし、実務においては、実験から解析までを行うことは困難である。それを補う意味で、本研究では、粘性土のモデル特有のパラメータに関して多くの実験結果を整理し、パラメータの平均的な値を示している。これらの成果は、今後の研究や実務において、地盤を対象とした土木構造物の設計・評価に利用できる貴重な成果であり、有効応力解析手法の発展にも大きく貢献できる。したがって、本研究は学位論文として認定するに値するものと判定した。

最終試験結果の要旨

八嶋 厚，杉戸 真太，本城 勇介および張 鋒で構成する審査委員会は、本論文および論文別刷りなどを慎重に検討した。その結果、本論文は学位論文として十分に完成された内容を有していることを確認した。また、提出された査読論文は申請者によって書かれていることを確認した。最終試験（公聴会）を平成 15 年 2 月 10 日に開催し、審査した。審査委員会での審議の結果、合格と判定した。