

論文の内容の要旨

論文題目 現場と室内で締め固めた砂質土供試体の非一様性の評価と強度変形特性への影響

Evaluation of non-uniformity of sandy soil specimens compacted in the field and in the laboratory
and its effect on strength and deformation characteristics

氏 名 富田 佑一

本論文は、乾燥密度や飽和度の鉛直深度分布を有する現場で締め固めた砂質土供試体と室内で締め固めた砂質土供試体の非一様性をそれぞれ評価し、鉛直深度方向別に設置した局所変位計を用いて供試体の非一様性を考慮した不飽和排気・排水三軸圧縮試験を実施して、両者の強度変形特性を比較し、まとめたものである。

研究背景と目的を以下に示す。

近年の盛土構造物の品質は、大型締め固め機械の利用による締め固めエネルギーの向上や GNSS 等の締め固め機械の位置情報管理システムの活用による面的な施工管理によって向上している。その一方で、多発する地震・豪雨等に対する被害軽減、維持管理費の低減等、盛土構造物のより高い性能が社会的に求められている為、これに応じて、設計で要求性能を適切に定め、それを満足する施工管理が必要となる。通常は設計定数を反映した物性指標を測定して間接的にその確認をする。その指標として、土の締め固め度(乾燥密度)、支持力(現場 CBR 等)、地盤反力係数(K_{30} 等)が測定されているが、これら物性指標と三軸圧縮試験などで設計条件(通常湿潤・飽和条件)の下で測定した強度変形特性の相関は明らかになっていない。

最近の研究によると、現場不飽和盛土での CBR や K_{30} は、乾燥密度に加えて締め固め時の飽和度に強く影響され、湿潤化・飽和化後の強度変形特性にも締め固め時の飽和度の影響は残る。したがって、上記の相関の検討には、乾燥密度に加えて締め固め時の飽和度を考慮する必要がある。また、三軸圧縮試験の供試体は通常は室内で変形が拘束されたモールド内で突固め法により、5 層に分けて締め固めて作製されるが、現場締め固めでは、所定の厚さで撒き出した土の上を締め固め機械を走行させて締め固める為、各締め固め層で鉛直深度方向に大きな密度分布が生じる。また、地盤の拘束が弱い為、締め固め時に大きなせん断変形が生じる可能性がある。本研究では、大型鋼製土槽内に小型締め固め機械を用いて作製した試験盛土で実大締め固め実験を行い、試験盛土から採取した乱れの少ない供試体と同一の土質を用いて室内で締め固めた供試体の物理特性試験による供試体の非一様性の評価と鉛直深度別に設置した局所変位計の不飽和排気・排水三軸圧縮試験を行い、両者の強度変形特性を比較した。

本論文の構成と研究内容を以下に示す。

第1章では、研究背景、研究目的を設定し、論文構成を示した。

第2章では、関連する既往の研究を整理し、現場締め固め土は鉛直深度方向に乾燥密度分布が生じている事、室内で作製した供試体であっても、突固め法により締め固めた供試体は局所的に非一様である可能性がある事を確認した。これら供試体の非一様性は供試体全体の変形特性の予測を難しくしているが、この非一様性を考慮した強度特性へ与える影響や局所的な変形特性に関する研究例は殆ど確認されてない。供試体の非一様性に起因する問題を解決するにはそれを出来るだけ考慮した変形特性評価方法が必要と考え、本研究で取り組むべき課題とした。

第3章では、実大締め固め実験の試験盛土から採取した供試体と室内締め固め供試体それぞれの作製方法と三軸圧

縮試験方法を示した。また、供試体の非一様性が与える変形特性への影響評価を目的に鉛直深度方向の局所変位の測定計画を示し、ダミー供試体等を用いた三軸圧縮試験結果から試験方法と試験結果の評価方法の妥当性を検証した。

第4章では、現場と室内で締め固めた供試体の非一様性を考慮した物理特性を示した。その結果、現場と室内で締め固めた供試体はそれぞれ異なる乾燥密度の鉛直深度分布を有しており、既往の研究と整合する事を確認した。これら両供試体に含水比分布はなく、飽和度分布が生じている事を示し、非一様性評価結果に基づいて後の章の強度変形特性評価に用いる供試体の局所乾燥密度と局所飽和度を定めた。また、室内締め固め供試体は締め固めエネルギーが大きいほど、乾燥密度分布が大きく生じており、これは締め固め時の突固めによる撃力の影響がある事を示唆した。さらに、現場と室内に関わらず締め固めた供試体の初期サクシオンと飽和度との関係には乾燥密度の影響が含まれるが、初期サクシオンと含水比との関係には乾燥密度の影響が殆ど含まれない事を示した。その他には現場で締め固めた供試体と室内で締め固めた供試体の粒度分布の違い、飽和化後の鉛直透水係数の違いについてまとめた。

第5章では、室内で締め固めた供試体の非一様性を考慮した三軸圧縮試験による強度変形特性を整理した。その結果、締め固めエネルギーが大きく、乾燥密度分布の大きい供試体ほど、局所乾燥密度の小さい供試体上部が局所的に破壊する事、供試体の上部と下部で局所的な変形特性の違いが大きくなる事を明らかにした。さらに、最大軸差応力、割線ヤング率 E_{50} 、初期ヤング率について、供試体の乾燥密度と飽和度の非一様性を考慮すれば、飽和度の影響は受けるが乾燥密度と相関関係がある事を示した。

第6章では、現場で締め固めた供試体の非一様性を考慮した三軸圧縮試験による強度変形特性を整理した。その結果、供試体上部は下部に比べて局所乾燥密度が大きいにも関わらず、ピーク強度までの剛性が低い傾向である事を示した。最大軸差応力、割線ヤング率 E_{50} 、初期ヤング率について、供試体の乾燥密度と飽和度の非一様性を考慮すれば、飽和度の影響は受けるが乾燥密度と相関関係がある事、試験盛土の表面付近に位置する供試体上部はこれと異なる挙動を示す事を確認した。供試体上部が低剛性を示すのは、現場締め固めにより地盤表面付近にせん断破壊領域が生じている事が原因であると仮定し、鉛直深度方向へのその影響範囲を示した。さらに、試験盛土締め固め層の上部と下部から別個に採取した小型供試体について小型三軸圧縮試験を上下別々に実施し、乾燥密度の大きい締め固め層上部供試体の方が乾燥密度の小さい締め固め層下部供試体よりピーク強度までの剛性は小さいが、最大軸差応力は大きい事を示した。この事から、試験盛土表面付近のせん断破壊領域が鉛直ひずみの進行に伴い、一様化して高い最大軸差応力を示す事を示唆した。

第7章では、現場と室内で締め固めた供試体の強度変形特性を比較整理した。両供試体の強度変形特性と乾燥密度の関係に与える飽和度の影響の程度は、試験盛土表面付近を除いてほぼ一致する事を確認した。試験盛土表面付近はせん断破壊領域の影響を受け、同一(w, ρ_d)平面上にある室内締め固め土に比べて変形特性が低下する事を確認した。この実験結果に基づいて、現場締め固め土の変形特性評価には乾燥密度と飽和度に加え、締め固め機械によるせん断破壊領域の影響を考慮する必要がある事を示した。また、これらの影響を考慮することで室内締め固め供試体の平均的な強度変形特性を用い、現場締め固め供試体の平均的な強度変形特性を推定する手法を提案した。さらに、強度変形特性～乾燥密度関係に影響を与えるパラメーターを飽和度で整理した場合と含水比で整理した場合で比較し、整理パラメーター別に強度変形特性の推定値と実測値のばらつきの程度を評価する事で、どちらのパラメーターで整理する方が適しているのか検討した。

第8章では、本研究の結論と今後の課題を示した。

本研究により得られた主な結論の概略を示す。

(1) 現場と室内で締め固めた供試体はともに、程度は異なるが鉛直深度方向の乾燥密度、飽和度に違いが見られ、

非一様である。また、両者は供試体の作製方法に起因する粒度特性や初期サクシヨン等の物理特性にわずかな違いは見られたが、他の物理特性や強度変形特性へ影響を与える程大きくない。

- (2) 現場と室内で締め固めた供試体の最大軸差応力は、同等の乾燥密度と飽和度条件下において、ほぼ類似する傾向であった。その一方で、変形特性は異なり、特に割線ヤング率 E_{50} は現場で締め固めた供試体が室内で締め固めた供試体より著しく小さい。
- (3) 特に試験盛土供試体は最大軸差応力と乾燥密度関係において供試体の乾燥密度分布によるばらつきが無視できない程大きく、この程度の乾燥密度分布があれば供試体の非一様性の影響検討が必須である。
- (4) 現場締め固め土の表面付近は締め固め機械との境界問題(接触問題)によってせん断破壊している事が予想され、乾燥密度によらず低い割線ヤング率を示し、現場で締め固めた供試体平均の割線ヤング率の低下を招いている。ただし、現場締め固め土表層付近も大きい鉛直ひずみレベルで剛性の回復が見られることから、せん断破壊で非一様化していた土が鉛直ひずみの進行とともに一様化すると推察される。
- (5) 現場と室内で締め固めた供試体は、乾燥密度と飽和度の非一様性を考慮すれば強度変形特性を推定する事が出来る。ただし、現場で締め固め土表層付近の変形特性を評価するにはせん断破壊領域の影響を考慮する必要がある。
- (6) 現場で締め固めた供試体上部のせん断破壊領域の影響による剛性の低い層は等方圧密過程において異方的な構造は示すものの、室内締め固め供試体に比べてやや等方的に近い挙動を示す。これは現場締め固め時の表層付近は比較的拘束効果が弱い為、室内締め固め供試体のような強い構造異方性を得られなかったと考えられ、せん断破壊領域の特徴の一つである事を示唆している。また、この現場締め固め土表層付近は、高い応力条件下または応力履歴を付与する事により、変形特性の向上が期待できる。
- (7) 局所変位計を鉛直深度方向別に配置すれば、計測方法による測定範囲の限界はあるが、非一様供試体の変形特性を評価することが出来る。