

外 96-39

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

礫まじり土の締固め管理における問題点と

その締固め密度の推定に関する研究

申 請 者

森

Mitsuo

満 雄

MORI

1996 年 11 月

締固めの重要な目的は、各種の土構造物の安定性の増加にある。そして、締固めに当たっては、土の締固めに必要な基準エネルギーを持つ標準締固め試験による最大乾燥密度・最適含水比を用いた締固め管理を行うことが一般的である。すなわち、最大乾燥密度・最適含水比の状態の土は、空気間隙率も少なく、土構造物の完成後も、強度低下をまねく水の浸入による吸水量が少ない。従って、このような土は、締固め施工直後の力学的性状を吸水後もかなり保持することのできる安定した状態にあるといえる。

しかしながら、締固め管理に用いる標準締固め試験の場合、使用モールドの内径に応じた材料の許容最大粒径がある。モールドの最大内径は15 cmであるので、許容最大粒径は、37.5 mmと規定されている。この規定は、粒径がモールド内径の1/4となり、実験精度からみた限界の最大粒径といえる。しかし、実際の現場材料の最大粒径は、許容粒径より大きいものが極めて多く、粒径10 cm以上の礫まじり土も少なくない。従って、現場材料がこの許容最大粒径以上の粗礫を含む場合、標準締固め試験で得られた最大乾燥密度を、現場材料の最大乾燥密度とすることは現状の基準のままではできない。一方、モールドを最大粒径に応じて大きくし基準エネルギーで締固め試験を行うことは実用的でない。そのため、これらの土の締固め基準を、どのように設定して密度管理を行うのが合理的であるかが問題となる。

現状では、礫まじり土に対し数種の締固め管理の方法が提案され、用いられている。これらの方法は、現場締固め密度の基準となる現場材料の最大乾燥密度を推定により求める管理方法と、締固め後の礫まじり土の強度と支持力による管理方法に分けられる。しかし、前者は、礫分の少ない場合を除いて推定誤差が大きい。後者は、締固め土の間隙についての規制がないので、間隙の多い状態が生じることがあり、特に礫分が軟岩系の場合、水の浸入による粗粒材の劣化が生じ、大きな強度低下の発生する欠点がある。従って、礫まじり土の種類を問わず、必要とする締固め密度が得られ、空気間隙率も適切な範囲内にある、より正確な密度管理法が望まれる。それ故、標準締固め試験を利用できない礫まじり土の場合、現場材料の許容最大粒径以上の粗礫含有量や粒度に対する締固め管理を正しく行うために、最大乾燥密度と最適含水比を精度よく求める方法を確立することは重要課題である。

本研究は、上記の課題を解決すべく、許容最大粒径以下の標準締固め試験結果から、試験不能な粗礫を含む現場材料の締固め管理基準となる、最大乾燥密度と最適含水比の推定法を提案するものである。礫まじり土の締固め密度の推定法には、従来Walker-Holtzの方法が用いられてきたが、礫まじり土の種類によっては適用不能の場合などが報告されている。そこで、本研究では、礫質の全く異なる材料を用いて推定法を検討した結果、いずれも本推定法の適用が可能であることを確認している。本推定法の基本的な考え方は、礫まじり土のゆる詰め密度と突

固め密度および最大乾燥密度の間に相関関係のあること、最大乾燥密度と最適含水比にも相関関係のあることから成立している。

本論文は、全七章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第一章では、研究の目的、概要を述べ、本研究に関連する締固め施工管理の基本的な問題点を挙げ、本研究の位置付けを明らかにした。

第二章では、従来用いられている礫まじり土の締固め管理方法について検討している。従来の締固め管理方法はいずれも確立された管理方法とは言えず、特に力学試験や大型振動ローラーによる場合、締固め密度・施工含水比が明らかでなく、締固め土の間隙についての規制がない。従って、間隙の多い状態が生じると、礫分が軟岩系の場合、転圧後の水浸による礫分の劣化が生じ、安定性に問題のあることを、本研究による密度推定法の考え方との比較のもとに指摘した。

第三章では、従来の礫まじり土の締固め密度の推定法や本推定法の適用性、および礫まじり土の密度管理方法を論じるためには、礫まじり土の締固め特性の基本的な考察が必要であると考え、著者の過去の研究を整理・統一して、14種類の礫まじり土の締固め特性を検討している。その結果、礫まじり土の最大乾燥密度と最適含水比、礫分の増加に伴う最適含水比の減少と細粒土分の分担する含水比増加、細粒土の密度低下など、細粒土に対する締固めエネルギーの低下により生ずる現象を検討し、最大乾燥密度の高い細粒土ほど、少ない礫率で細粒土の密度低下・含水比の増加を生じることなどを明らかにした。

第四章では、礫まじり土の締固め密度の推定法について、従来用いられてきたWalker-Holtzの推定法やその他の推定法のうち4つの推定法を取り上げ、その概要と問題点を述べている。ここでは、殆どの推定法が施工含水比にふれていない点を指摘した。また、これらの方法のうち、Walker-Holtzの推定法とHumphresの推定法に対して、第三章で得られた結果を中心にその適用性を検討した。両者を比較すると、いずれも実験値との差はあるものの、Humphresの推定法がWalker-Holtzの推定法より適用性は良いという結果を得た。しかし、礫率の多い場合や気泡性の火山礫を対象とした場合には、両者とも極めて適用性の低いことを指摘した。

第五章は、本研究で提案する礫まじり土の最大乾燥密度と最適含水比の推定法の考え方と特徴について述べ、大型突固め試験によりその妥当性を検証したものである。まず、粗大礫を含む現場材料の殆どは連続粒度分布と考えてよいので、室内締固め試験に当たって、相似粒度とせん頭粒度のいずれを用いるか、その長所・短所について比較検討し、せん頭粒度を用いることに決めた理由を示した。

次に、標準締固め試験の結果から粗礫を含む現場材料の最大乾燥密度を推定する方法として、含水比ゼロ、締固めエネルギーゼロのゆる詰め密度 ρ_{ul} 、締固めエネルギーのみを与えた締固め密度 ρ_{lc} 、含水比の影響を与えた最大乾燥密度 ρ_{max} の間に相関関係があり、この相関関係が得られれば、 ρ_{ul} の測定結果から ρ_{max} の推定が可能となることを示した。この考え方の根拠は、ゆる詰め密度が

大きい粒度の材料は締固め密度も最大乾燥密度も大きいというもので、この関係をせん頭粒度を変えて大型突固め試験により検討した。また、締固めに伴う礫の破碎が問題になるが、破碎の程度はせん頭粒度の増加すなわち礫分の増加に対応して変化し、締固め密度への影響も連続的に変化すると考えてよいことを示した。本推定法の特徴は、 ρ_{dL} の測定が現場材料の最大粒度に応じて任意の大きさの容器を準備して容易に出来ることである。

現場材料は、最大粒度・粒度分布・礫質・礫の形状など多岐に亘る。そこで、実験では、最大粒度を63.5mmとし、予備実験で求めた適用限界と考えられる粒度を含めて、礫分を3種の粒度に設定した。また、礫質の異なる川砂利と軟岩礫を山砂に混合して実験した。その結果、せん頭粒度のゆる詰め密度 ρ_{dL} から最大乾燥密度 ρ_{dmax} が推定可能であることを立証した。従来、各せん頭粒度の最大粒度に対して締固め密度は直線的に比例して増加するという研究例もあるが、この比例関係は粒度分布と礫質に支配され、せん頭粒度の増加によって密度の減少する場合も生じることを指摘した。

最適含水比の推定に関しては、礫率に変化しても最適含水比状態における飽和度と空気間隙率は、ほぼ一定の状態を保つことから、約380個の試料について調査した著者の最大乾燥密度と最適含水比の相関関係式を用いることができることを示した。

第六章では、本研究の推定法の適用性と、その適用限界について検討している。礫まじり土の粒度分布については、川砂利と軟岩礫いずれの場合もTalbotの曲線式の指数 $n \leq 1.0$ の粒度分布であれば、本推定法による最大乾燥密度と最適含水比の推定が可能であることを明らかにした。このうち $n = 1.0$ の粒度分布は、粒度曲線からみて極めて粗粒分の多い材料である。

本推定法により、過大な ρ_{dmax} が推定された場合、その値が妥当かどうか検討する必要がある。そこで、本研究より得られた計算上の限界密度と実際に得られた最大の密度を、締固め方法、締固めエネルギーのいかんを問わず調査し比較検討した結果、実用的には $\rho_{dL} \sim \rho_{dmax}$ の比例関係の直線上に推定される限界密度は2.3 g/cm³であることを示した。また、礫まじり土の締固めに当たって重要な破碎の程度を、川砂利と軟岩の破碎指数ICと平均粒度の変化で比較検討した結果、破碎量の著しく異なる材料の場合にも本推定法の適用が可能であることを確かめた。

最大乾燥密度に対する最適含水比の推定式についても検証を行って、その妥当性を確認した。さらに、第五章の実験結果にWalker-Holtzの推定法を適用すると、散密には礫率が低くとも適用不能であるという結果を得た。

以上は連続粒度の場合であるが、特殊な場合として単粒度の礫を混合した不連続粒度についても、本推定法の基本的な考え方の適用性について検討している。

第七章は、本研究で得られた成果を要約し、結論としてまとめたものである。