

## 論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学専攻

氏名 阿部 智彦

可塑性グラウト材料は、比較的大きな（数cm～数十cm）空洞、空隙の充填材料として開発されたグラウト材料である。可塑性グラウト材料は、レオロジー特性としては擬塑性流体もしくはビンガム流体に該当し、ポンプで押されると空洞・空隙をくまなく充填するのに必要な「軟らかさ」を発現し、ポンプが止まると充填範囲を限定するのに必要な、もしくは狭い隙間から漏れ出さない程度の「硬さ」を発現する。このような性状を「可塑性」と呼び、一般的にはこの可塑性と呼ばれる性質に加え、水中不分離性（静水中で分離しない程度）および低収縮性（材齢28日で収縮率2%以下）を有するグラウトを特に「可塑性グラウト材料」と呼ぶ。

可塑性グラウト材料は、これらの性状により、限定注入（ある特定の範囲にグラウトを留まらせる注入）を可能とする。これによって比較的大きな空洞、空隙であっても、充填を不必要とする範囲へのグラウト材料の広がりや抑制できる。また水が存在する環境下でも注入が可能であり、さらに硬化後の収縮が小さいことから、これまで主に既設トンネル覆工背面に生じた空洞を充填するのに最適な材料として多く用いられてきた。

可塑性グラウト材料が持つ基本的な性状（可塑性、水中不分離性、低収縮性）は、トンネルの覆工背面の空洞充填以外の用途で活用できる可能性があり、さまざまな用途に応じた最適な配合を容易に設計可能とするための配合設計手法の高度化と、可塑性グラウト材料の高機能化により、可塑性グラウト材料の適用範囲の拡大をはかることができると考え、具体的には下記項目について研究を行った。

一つ目として、これまでに開発された可塑性グラウト材料の多くは、NEXCO規格を満足するよう微妙なバランスの元、配合設計されており、例えば流動性を変化させたり、強度を大きくしたりといった調整が難しい場合が多かった。そこで、できるだけ容易に流動性や強度を変更可能な新しい可塑性グラウト材料を開発した。二つ目として、河川や湖沼等において、セメント系材料を使用すると、周辺水のpHが上昇する懸念がある。そこで、河川や湖沼等の充填において、周辺水のpHの上昇を抑制できる可塑性グラウト材料を開発した。三つ目として、捨石マウンド等の巨礫地盤の充填に対する充填固化为目的とし、巨礫地盤の充填における最適と考えられる充填形態および、その充填形態とするための課題を挙げた上で、より高品質な充填を可能とする配合を開発した。最後に、巨礫地盤の充填に適した配合設計の一助とするために、巨礫地盤を簡易にモデル化し、その充填モデルから、巨礫地盤の充填に最適な配合を選定するための手法を提案した。

以下に各章の概要を示す。

第1章の「序論」では、本研究の背景として、近年の可塑性グラウト材料を取り巻く現状を述

べたうえで、多くの可塑性グラウト材料が抱える課題を指摘し、本研究の目的を示した。

第2章では、可塑性グラウト材料の概要を述べるとともに、可塑性グラウト材料に関する既往の研究、混和材を大量に混合したモルタル・コンクリート材料に関する既往の研究、およびグラウト材料のレオロジー性状に関する既往の研究について述べた。

第3章では、既存の可塑性グラウト材料の問題（強度や流動性の変更といった配合調整が困難）を示したうえで、他の性状を損なわずに流動性や強度の変更が容易な可塑性グラウト材料の検討を行っている。その結果、使用する各材料に明確な役割を持たせることで、他の性状を損ねることなく他の性状を変えることができることを示し、それを踏まえて開発した可塑性グラウト材料について述べている。

第4章では、河川や湖沼等において可塑性グラウト材料を含むセメント系材料を充填した場合の問題（水和反応による硬化過程における周辺水のpHの上昇）について示した上で、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末といった混和材を大量に使用し、セメントをできるだけ少なくすることで周辺水のpHの上昇が抑制できることを示し、それを踏まえて開発した可塑性グラウト材料について述べている。

第5章では、巨礫地盤の充填固化における充填形態は、注入管の吐出口から同心円状（球状）にグラウト材料が充填されるのが望ましいことを示し、巨礫地盤の充填固化には水中不分離性を有し、かつビンガム流体である可塑性グラウト材料の使用が適していることを示している。さらに、巨礫地盤における可塑性グラウト材料の流動について、円管を鉛直下方に流れる可塑性グラウト材料の流動モデルを提案し、水中における巨礫地盤に対して、可塑性グラウト材料によって高品質な充填を行うためには、グラウト材料のフレッシュ状態における引張強さが重要であることを示している。

第6章では、第5章で示した可塑性グラウト材料を高品質に充填するために求められる性状を踏まえ、フレッシュ状態における引張強さの向上を目指した配合開発を行っている。フレッシュ状態における引張強さを向上するためには、シリカフェームとベントナイトの混和が有効であることを示し、それを踏まえて開発した可塑性グラウト材料について示している。

第7章では、第5章で示した、巨礫間隙に対して可塑性グラウト材料を充填するにあたって必要とされる性状を踏まえ、巨礫の間隙を円管のネットワークとしたモデルを提案している。巨礫地盤をモデル化するのに必要なパラメータとして、巨礫地盤の間隙率 $n$ と50%粒径 $D_{50}$ を提案し、巨礫地盤をモデル化する流れを示している。さらに、モデル化した巨礫地盤に対して最適な配合を選定するにあたり、可塑性グラウト材料をビンガム流体と考えた場合の降伏応力 $\tau_f$ と材料密度 $\rho_g$ が必要であることを示した上で、第6章において提案した配合について、適用可能な巨礫地盤の範囲を示している。

第8章では、本研究の成果を総括するとともに、今後の課題について述べた。

以上の研究の結果、可塑性グラウト材料がさまざまな用途に適用できるよう、配合設計の容易な可塑性グラウト材料を開発し、さらに河川や湖沼といった水環境において、環境負荷の低減をはかることが可能な配合や、巨礫地盤に充填するに適した配合を開発した。さらに、巨礫地盤をモデル化し、地盤性状に応じた最適な配合を選定する手法を提案した。