

報告番号 第 2776 号

主論文の要旨

題名

粘土の非排水、部分排水せん断挙動の解析と軟弱地盤上の盛土工設計への応用に関する研究

氏名 中野正樹



主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 中野正樹

土質工学の設計は、施工過程のいろいろの時間断面でなされる必要があるといわれている。これを軟弱な正規圧密粘土地盤を例に言えば、盛土などの築造では地盤は盛土立ち上がり直後が最も危険で、その後地盤は圧密により徐々に安定に向かう。逆にたとえば掘削では、掘削直後が最も安定で時間が経過すると、吸水により急激に掘削安定は低下する。

このようにして、完成断面における設計がその中心である橋梁のような構造の設計とは、土質工学の設計は、大いに異なるところがある。この違いはもちろん土材料が、以下の2点で特徴づけられるためである。

(1)土は弾塑性材料である。

(2)土は水～土骨格の2相系材料である。

(1)から、土材料は荷重が大きいとやがて破壊してしまう「荷重の大きさ」がKey Wordの材料といえる。したがって土材料に対しては荷重の大きさは土の「強度」で定義され、地盤については「支持力」を単位にして測られる。また(2)から、飽和した土材料の挙動はTerzaghiの有効応力原理に基づき、

$$\sigma' = \sigma - u$$

で示される。つまり、

- ①外荷重は全応力 σ とつり合い、
- ②エレメントの挙動は有効応力 σ' で決まり、
- ③有効応力 σ' を間隙水圧 u が仲立ちし、全応力 σ とつり合う。

すなわち、「荷重経路」が同じであっても間隙水圧の発生と消散、言い換えると水のマイグレーション(供試体内部の水の移動)の程度の違いによって、有効応力が変化し間隙比 e も変化するため、土材料の変形・支持力が変化するのである。

ここで「マイグレーション」とは、土質力学では境界非排水で水が移動することを指す。したがって水のマイグレーションが起こると必然的に土が圧縮するところと膨潤するところが混在することになる。

本研究の目的は、土材料が上記2点によって特徴づけられることに注目し、水のマイグレーションの程度に変化を与えるものとして、

(a) 載荷速度

(b) 透水係数

を挙げ、この水のマイグレーションの程度の違いによって飽和した粘土の挙動、支持力にどのように影響するかを調べることにある。そして実

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 中野正樹

際の粘土および地盤の挙動のいくつかを水のマイグレーションの効果として説明することにある。

本論文は、序論を含めて6章からなる。

前半の第2章、第3章は実験的研究であり、載荷速度を変化させた三軸圧縮試験を行って、三軸供試体内に程度の異なる水のマイグレーションを起こし、粘土の挙動に及ぼす影響について述べている。ここでは一貫して三軸試験をエレメント試験とはみなさず、せん断試験中、三軸供試体は応力・ひずみ・間隙水圧・比体積等の不均質性を有しているという考えから出発している。

第2章では、繰り返し正規圧密粘土について3種類の三軸圧縮試験を実施した。まず部分排水試験を行ったところ、今回の試験条件では、部分排水せん断強度は載荷速度が

$$1.0 \times 10^{-4} \text{ kgf/cm}^2/\text{sec} \sim 1.5 \times 10^{-2} \text{ kgf/cm}^2/\text{sec}$$

という狭いレンジでのみ変化し、載荷速度が大きくなるほどせん断強度は 8.7 kgf/cm^2 から 4.0 kgf/cm^2 と小さくなった。このレンジで水のマイグレーションの程度が異なり、部分排水効果が現れたのを確認した。そこでこのレンジに注目して非排水試験を行ったところ、非排水せん断強度も部分排水せん断強度と同じ載荷速度レンジでのみ変化し、載荷速度が大きくなるほどせん断強度は 3.0 kgf/cm^2 から 4.0 kgf/cm^2 と大きくなった。このことから非排水せん断強度の載荷速度効果の原因の1つに、水のマイグレーションの程度の違いによる供試体の不均質性があると考察した。しかし弾塑性モデル(Cam clayモデル)による数値シミュレーションを行ったところ、部分排水試験はよく説明できたが非排水試験は実験値よりも強度の差が現れなかった。非排水せん断強度の載荷速度効果には水のマイグレーションのほかに土骨格の粘性や変形のしかたの影響が挙げられる。

また載荷速度の違いによる三軸供試体の変形のしかた・破壊モードの影響を調べたところ、供試体の破壊モードは、部分排水試験の場合、載荷速度が小さくなるにつれ4つのモードに、非排水試験の場合は3つのモードに変化した。このことを水のマイグレーションの程度の違いで供試体の変形のしかたが変化すると解釈した。

そして破壊した土においても水のマイグレーション(ここでは排水、つまり圧密のこと)は起こり、その後のせん断強度は、今回の試験条件

主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 中野正樹

において、1回目のせん断強度に比べて約1.7倍も上昇した。

第3章では、練り返した飽和粘土試料で超過圧密粘土をつくり、3種類の三軸圧縮試験を行った。第2章と同様に三軸試験をエレメント試験とはみなさず、水のマイグレーション効果に注目してその挙動を考察した。OCR=30.0の過圧密粘土の場合、載荷速度を変化させた部分(吸)排水、非排水三軸圧縮試験を行ったところ、部分(吸)排水試験でも非排水試験でも、載荷速度が小さくなるにつれせん断強度は小さくなり、破壊が起こる軸ひずみも小さくなった。また同じ載荷速度の場合、排水せん断強度の方が非排水せん断強度より大きくなった。つぎに排水条件のもと一定荷重放置試験を行ったところ、一定荷重放置後、軸ひずみ速度は急激に減少し最小ひずみ速度になった後、急激に速度が増加し、破壊に至るまでに何度も速度が増減した。さらに破壊後挙動の三軸圧縮試験を行ったところ、破壊時負圧が発生して吸水膨張が起こり、軸差応力も時間とともに緩和した。今回の試験条件の場合、2回目のせん断強度は1回目のせん断強度よりも劣化し、0.94倍になった。

後半の第4章、第5章では、2、3章で供試体内での水のマイグレーションにより強度の変化・変形・破壊のしかたが相当程度説明できたことをうけて、この見方を現場の問題に適用している。すなわち、現場での載荷速度はそれほど変化しないので、地盤の透水係数に注目して数値解析を行い、水のマイグレーション効果が地盤の変形・支持力に及ぼす影響を調べている。ここではすべて関口・太田の非粘性弾塑性構成モデルを用いた数値解析的研究である。

第4章では、数値解析により、地盤全体を代表する透水係数 (mass permeability) および地盤の非排水支持力で正規化された盛土荷重の大きさを変化させて、軟弱地盤上の盛土工の部分排水挙動に及ぼす影響を調べた。沈下比 ρ_0/ρ_1 および盛土盛立て終了時の支持力 q_{r0} は、地盤の透水係数が

$$10^{-7} \text{cm/sec} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$$

の範囲でのみ急激に変化し、この範囲で部分排水効果が起こっていることを示した。そして盛土荷重が大きくなるほど小さな透水係数で部分排水効果が現れた。圧密速さは、盛土荷重を固定すると、地盤の透水係数が大きくなるほど大きく、また、地盤の透水係数を固定すると、大きな荷重をかけるほど圧密の進行が早くなった。

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	中野正樹
------	-----	---	----	------

地盤の透水係数と沈下比の間には、部分排水効果の現れる透水係数の範囲で1対1の関係があり、この関係を用いて地盤の透水係数を逆算し、以後の予測計算に用いることができる。これを応用した試験盛土併用型の設計法を用いて、サンドドレーン工法で改良された地盤の事例解析を行ったところ、沈下挙動をうまく説明することができた。さらにこの関係よりサンドドレーン工法の有効性について考察した。すなわちサンドドレーン工法によって地盤の透水係数を改善させ、部分排水効果が起こり、地盤の有効応力パスが変化して、支持力の増大、残留沈下の減少、最終沈下量の減少、圧密時間の減少などの効果を発揮するのである。

第5章では、第4章で提案した試験盛土を利用した設計法をプレロード工法の設計へと応用した。前半では、有限要素法による予測計算を設計諸元の決定に有効に利用する意思決定の方法を考えるため、残留沈下を生じないという条件のもとでのサーチャージ荷重、撤去量、撤去時期、地盤の透水係数等の関係を調べた。そして撤去時期だけを変化させると、撤去時期が遅いほど限界撤去量は少なく、サーチャージ荷重のみを変化させると、サーチャージ荷重が大きいほど限界撤去量は多くなった。また地盤の透水係数が大きいほど限界撤去量は少なくなった。仕上がり高さに及ぼす影響は、撤去時期が同じときはサーチャージ荷重が大きいほど仕上がり高さは高くなり、またサーチャージ荷重が同じ場合は、撤去時期が遅いほど仕上がり高さは高くなった。サーチャージ荷重を固定したとき、撤去時期が同じ場合、透水係数が大きいほど撤去量は少なく、仕上がり高さは高くなった。この解析では、残留沈下が生じない限界の撤去荷重（限界撤去量）と地盤中央の過剰間隙水圧とに一意的な関係があることを得て、またこの関係を利用している。後半では、第4章で得られた試験盛土併用型の設計法を応用して、プレロード工法の設計・施工法を、模擬設計の数値計算事例を用いて説明した。そして施工過程の初期の沈下観測から透水係数を推定を組込んだ「モニタードディシジョン」によって、以後の盛土挙動の予測を十分に正確に行うことができた。さらに一見沈下問題に思えるプレロード工法の設計が、サーチャージ荷重の大きさを地盤の非排水支持力により評価してはじめて行うことができることを再確認した。