

氏名	宋 永 焜 ソウ エイ コン
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 284 号
学位授与の日付	昭 和 47 年 1 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 土 木 工 学 専 攻
学位論文題目	安定処理土の構造と工学的性質の相関性に関する微視的研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 尾 新 一 郎 教 授 村 山 朔 郎 教 授 柴 田 徹

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、主としてX線および電子顕微鏡を用いて、安定処理の基本をなす締固め土および安定処理土（石灰およびリン酸処理土）の構造と工学的性質の関係を追求したものである。全文は5章からなっている。この場合、構造とは分散および集合状態（締固め）における粒子などの形態的研究を意味し、その相互間の物理化学的な力の問題を包括していない。

第1章では、土質工学における微視的研究の重要性を述べ、その手段として用いられるX線、電子顕微鏡などの器械的性質を、土質構造研究の立場から比較している。つぎに、土質構造と工学的性質の一般関係について述べ、現在までの構造的研究についての概観を説明した。また、工学、農学、地質学などの立場から構造の定義を比較し、本研究における構造の定義を規定した。

第2章の締固め土の構造と工学的性質の相関性に関する微視的研究では、締固めのメカニズムを追求するに先立って、まず締固め土を構成する土粒子の微視構造を明らかにした。そして、締固めのメカニズムを粒子配向の立場より説明した。この場合、透過型電子顕微鏡および走査型電子顕微鏡による実際の観察を行ない、従来から困難視されていた試料作製の技術を改良し、その土質特有の方法を明らかにした。また、この粒子配向と工学的性質との関係を求めるため、収縮試験、締固め試験、強度試験および透水試験などの結果を、すべて粒子配向の立場から説明を与えた。また、著者は従来の締固め曲線が砂質土の締固め挙動の全ぼうを表わしていないとして、コーン貫入試験曲線による方法を提案し、その構造的研究を行なった。最後に、締固め土構成粒子の微視構造を研究するにあたって、著者が工夫した砂質土表面構造の観察手法を拡大し、砂質土のセン断作用による表面構造の変化を明らかにした。粒状体の力学が近時注目されだしているが、著者はこのような砂質土の表面構造に関する研究が有用な一実験的手段を与えるものと信じている。

第3章では、カチオン系土質安定材として消石灰を選び、アニオン系土質安定材としてはリン酸を採り上げ、各々の土質安定処理土としての構造的研究を行なった。石灰土質安定処理土の構造的研究としては

締固め土の構造的な研究を、リン酸安定処理土では分散溶液系内の構造的な反応を、主として研究した。このうち、石灰処理締固め土の構造的な研究では、まず安定処理による強度発生メカニズムの概観を与え、砂質処理土の強度発生メカニズムは炭酸化作用、被覆最適化、高密度化であるとしている。この構造的な研究の内容は、炭酸化作用と強度の関係、被覆ゲルのX線による証明、高密度化による透水性の減少、反応生成物、1次鉱物の形態的变化、ソイルライム系の融合状態、およびマトリックスの構造的な変化を詳細に説明している。一方、分散溶液系中の反応に関する研究では、反応生成物や土粒子の侵食状況を説明した。その他に反応の進行を説明する指標として、pH試験を行ない、pH値と工学的性質の関係を求めた。

第4章では、現在まで研究されてきている安定処理土の2次添加物を整理、再検討して、その巨視的および微視的考察を行なった。研究の焦点を特にマサ土の破砕防止と2次添加物の砂質土に対する適用性に置いて、考察を加えた。

第5章における結論と展望では、全体的見地から結論を下し、本研究における主役である電子顕微鏡より見た安定処理土の問題点とその展望を与えている。そして、最後に土質構造の研究の重要性を強調し、その意義を次のように締めくくっている。すなわち土質あるいは安定処理土の構造が工学的問題を解決するにあたって演ずる役割とは、巨視的挙動に陰翳されたより根源的な原因を浮上させ、力学的性質の基本的事項を理解させて、工学的問題を解決するために必要な診断方法を提供するところにある。

### 論文審査の結果の要旨

電子顕微鏡が実用化して以来、土質力学の分野における応用としては、わずかに粘土鉱物の分散状態における形態的な研究に止まっていた。しかし、このような研究は実際上、土質力学あるいは土質工学的な意味を持たないものであり、それは次のような理由によるものである。すなわち、土質工学の意味における土とは、最適含水比付近の有限水分を持つ土であり、外部からの力を受けて立つ構造体としての土である。したがって、過剰溶液下における分散微粒子の存在環境および作用とは大いに異なる。また、土質工学上の土は、粘土から砂質土に至るまでの広汎な粒度分布を持つ土であり、その共同作用も無視できないものである。道路路盤、堤防、アースダムの構築材料は、最終的にはこのような条件を満足するものである。本論文はこのような考えから、X線、電子顕微鏡を主として、土質工学的な立場からその構造的な研究を行ない、それに伴う試料作製の困難さを克服して、次の研究成果を収めている。

(1) 締固め土を構成する土粒子が板状でないときには、従来の粒子配向理論に修正を与えるべきである。締固め含水比が最適含水比を過ぎると、供試体の収縮は急速に進み、透水試験から判断する限り、粒子配向の度合いは一定になる。また、電子顕微鏡で見た板状粒子の配向状態は *stepped face to face* である。

(2) 原土の1次鉱物表面微視構造には一定の型があり、せん断力を加えた後の代表的な微視構造には、段階的起伏型、平行アーチ型、河川分岐型などがある。

(3) 細粒土の部分が締固め土中に多く存在すればするほど、粒子配向が促進され、粗粒土ばかりからなっている場合の配向挙動は、細粒土がクラスターをなしている場合の挙動に等しい。任意の粒度分布を有する土中で土粒子の配向度を比較する基準は、 $20\mu$ 以下の含有率  $U_{0.02}$  である。

(4) 砂質土の締固め挙動は、コーン貫入曲線によって、よりよくその挙動を反映しうる。この場合、低含水比における変曲点は、試料が砂質土から粘性土に近づくにつれて、消失しようとする傾向がある。

(5) 石灰処理土の締固め構造では、石英、長石の1次鉱物は常温において石灰と反応せず、粘土鉱物による反応生成物には CSH(II) 型の繊維状生成物、煙草状のものが見られ、構造体中であたかも鉄筋のような働らきをしている。マトリックスの変化は等速でなく、ソイルライムの融合は第7週以後に行なわれる。

(6) 砂質石灰処理土の強度発生は炭酸化作用に負うものが多く、それに伴う重量増加、反応パーセントは、各々一軸圧縮強度と直線関係を保っている。被覆ゲルの生成は電顕観察のほか、塩酸処理による新ピークの出現、鮮明度およびピーク強度の増加から証明できる。また、締固めマトリックスの高密度化により、長期にわたる透水性の減少が見られる。

(7) X線回折から判断した粘土鉱物とリン酸との反応性は、カオリナイト、ハロイサイト、モンモリロナイト、クロライトの順に良好になる。また、電子顕微鏡によるリン酸処理溶液系内の構造的な研究では、表面吸着侵食による土粒子表面分割現象、大粒子から小粒子への分離現象が見られ、反応生成物は棒状のものが多く、反応は非均一、非等速である。

(8) pH 値で判断する限り、リン酸処理土の反応は24時間以後に起こる。また、締固め土試料の pH 領域が2~4の間か、またはそれに近い範囲内にあるものは、一軸圧縮強度も大である。その範囲より逸脱すればするほど、強度は小さくなる。

(9) 石灰処理土に加えらるる2次添加物のうち、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  は、処理土の粒径増加、一軸圧縮強度の増加およびマサ土の破砕防止に大きな効果を及ぼす。 $\text{NaAlO}_2$  は長期養生の強度発生が著しい。リン酸処理土では、 $\text{P}_2\text{O}_5$  の分散固結の相乗効果による強度増加が著しい。

(10) 石灰およびその2次添加物処理土の一軸圧縮試験における巨視的破壊線は、一般に長石、石英の各粒子間を通過して破壊し、雲母の粒子を貫通して破壊する。破壊断面の粒径は他の部分に比べて小さい。一方、その微視的破壊断面の構造は、7日養生ではゲル生成物、土粒子と消石灰の融合体より構成され、それより長期になると、ゲルの乾燥した団粒状構造が見られる。

以上要するに、本論文は、従来医学、地質学、金属学、窯業学の分野において用いられてきたX線および電子顕微鏡の手法を土質工学の分野に導入し、土質工学特有の電子顕微鏡試料作製法を開拓した。そして、これによって、従来推測の領域に止まっていた土の微視的な工学的挙動の解決を可視的な領域にまで広め、特に安定処理土の挙動については独創的な方法と知見を与え、土質力学、基礎工学、道路工学の分野に存在する境界領域の研究発展に、学術上および實際上、寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。