

京都大学工学部 正 松尾新一郎
京都大学工学部 正 〇 宋 永焜

I はしがき 本研究は、ここ数年来急速に発達してきた走査電子顕微鏡を用いて、分散あるいは凝集処理した締固め土の構造を観察し、それと工学的性質の関連性的一端を追求したものである。走査電子顕微鏡は分散材としてテトラリン酸ナトリウム、凝集材として消石灰を土の乾燥重量の1%だけ添加し、締固めた供試体について観察したものである。工学的な目的で土に分散材を添加し、締固め密度をあげようとする着想を最初に発表したのは Lumb⁽¹⁾ であるが、本邦では特殊土改良のためにその分散効果を発表したのは山内⁽²⁾ である。また土に対する分散効果のメカニズムを説明しようと試みたのは Michaels⁽³⁾ であるが、現在でもこの種の説明から一歩もでていない状態にある。走査電子顕微鏡を用いて締固め土の構造を研究したものは、2,3^{(4),(5)} があるが、特にその分散効果について研究したものには Smalley⁽⁶⁾ と Sides⁽⁷⁾ の研究がある。前者の研究によると NaOH で分散処理した締固め土の構造は、Sloane⁽⁸⁾ のいうブックハウス (book house または book cluster) でなく、段階的に面と面が積み重なった構造 (stepped face to face, または stepped cluster) であると述べている。また Sides⁽⁷⁾ は圧密構造によらず分散あるいは凝集材の影響を研究したが活性が大抵のものほど分散効果が大きであると結論づけている。以上の研究経過からみられるように、土質工学的な意味において、締固め土についてその分散凝集処理効果を電顕で研究したものはあり。Smalley⁽⁶⁾ の研究は NaOH という低度の分散材を用いているが、このようなものは土質工学的にあまり意味なく、またその構造観察は圧縮応力をかけて破壊させた後について部分的観察だけである。したがって本研究における特異性は、工学的に有効と実証されている分散材や凝集材を用いて、その締固め土の構造にあたる影響をミクロ的に観察したところにある。

II 締固め試験と電顕試料作成

1. 締固め試験：締固め試験はハーバート締固め試験で行われ、締固めエネルギーは $20 \times 3 \times 3$ である。クオリン、ヤントナイト、マサ土を分散および凝集処理して締固めた四角のおつちの図-1, 2, 3 に示す。分散効果による乾燥密度の上昇、凝集効果による乾燥密度の減少は各図で明瞭に表われている。この図では、以後の電顕写真と対応させるために乾燥側における点を①、最適含水比における点を②、湿潤側における点を③とし、これに試料の切断方向、H(水平方向)、V(垂直方向)を付けて観察点と方向を示すことにする。

2 走査電子顕微鏡試料作製法とその検討

(a) 試料成型：締固め供試体を真空中で乾燥させた後、その3等分中間部分 (Middle third) で載荷方向 (V試料) および、それに垂直な (H試料) 方向からナイフで切断し、 $5 \times 5 \times 5$ mm 角に整形する。観察面はヒゲソリ刃で平らに整形した後、ジェット気流で浮動試料を吹き飛ばし、更にセロテープを使用して20回以上はリフケて不可視の浮動試料を除去する。

(b) 試料固定、金塗着は著者の前研究⁽⁵⁾ にしたがうので省略する。

試料を空中乾燥させた場合には、間隙は減少するけれども粒子の相対的配向は大よそ変らないことが知られている⁽⁸⁾。粒子間の乱れを少なくするためには、そのほかに原保有水分を保ったままで行なう凍結乾燥法、臨界点法などがあるが操作がデリケートであり、少なくとも現時点における走査電子顕微鏡のもつ分解能と電圧のもとではあまり意味なりものと思われる。

Ⅲ カオリン締固め土の構造

1. 未処理カオリン締固め土の粒子配向(写真-1~4)

未処理カオリン締固め土の乾燥側(H₁断面)と湿潤側(H₃断面)の配向状態を示したのが写真-1~4である。H₁断面のおのおのにつれて粒子が十分に分散しているところでは締固めによる粒子配向効果があうわれている。ただし写真-2, 3には粒子の十分分散されていなりところがあり、粒子の配向状態が明瞭でない。写真-2, 4に示される湿潤側の配向状態はSloane⁽⁴⁾のいうブックハウス構造でもなく、またSmalley⁽⁵⁾のとなるる段階的積層面構造でもないことがわかる。たゞ明瞭なことは粒子がその締固めの方向に垂直な面に平行に配向しようとする傾向があり、ランダムになるよりもむしろ、段階的積層面構造になる傾向が強いといえる。またSloane⁽⁴⁾は最適含水比から湿潤側にいくにつれて配向された束の長い連鎖が形成され、この束は乾燥側では発生しないと述べているが、これはむしろ含水比に関係なく粒子が十分に分散しているときに形成される一つのチェーン構造であることが写真-3, 12によつて明らかである。前者は乾燥側における未処理カオリン、後者は石灰の凝集効果による湿潤

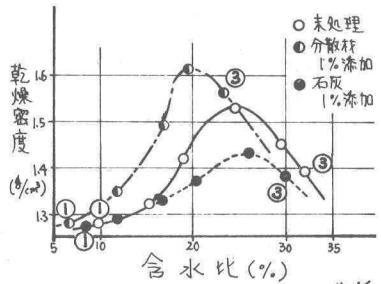


図-1 マサ土の締固め曲線

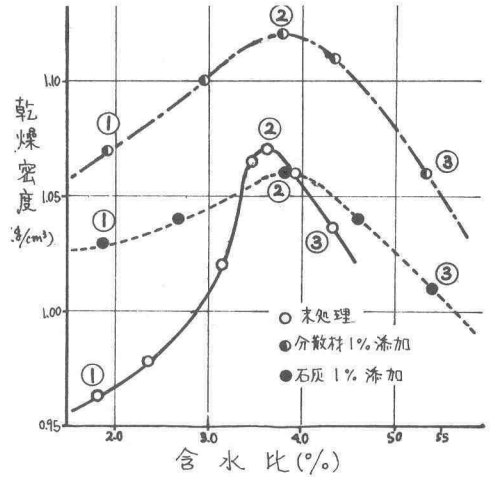


図-2 ベントナイトの締固め曲線

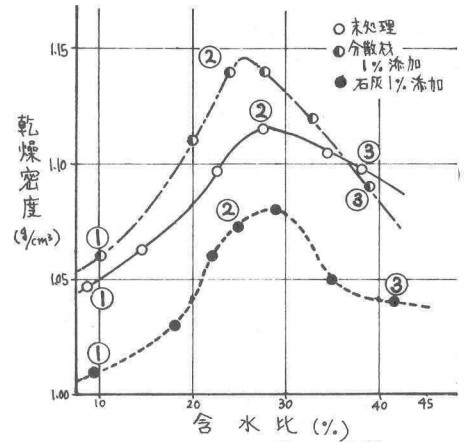


図-3 カオリンの締固め曲線

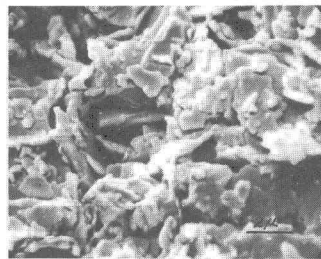


写真-1 未処理カオリン H1断面

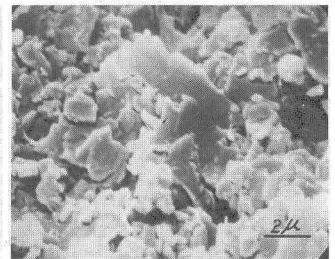


写真-2 未処理カオリン H3断面

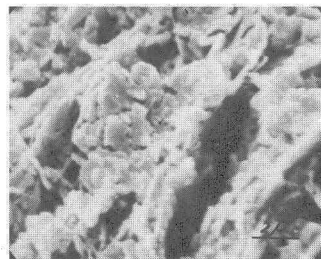


写真-3 未処理カオリン V1断面



写真-4 未処理カオリン V3断面

側の断面であり、いずれも明瞭なチエン構造がみられる。

2. 分散処理あるいは凝集処理と含水比の粒子配向におよぼす影響(写真-5~16)
写真-5~12 は分散処理締固め土と凝集処理締固め土の粒子配向状態を対比させてみるものである。左右方向にみた場合は同一方向断面における処理効果の差異を表わし、上下方向は各処理土の含水比の影響を示すことになり、その概念を図-4に示した。また図-5はこの対比結果から得た結論を図示したものである。締固め土においては、工学的な意味において最適含水比での配向が問題となるので特に写真-13~16 に未処理、処理土のV断面だけを対比させてみる。図-5および写真-13~16 と最適含水比前後と比べると、最適含水比における点は常に粒子配向変化における一つの臨界点であることがわかる。この最適含水比における臨界点も前後にはさんで次のような構造変化に関する結論をうることができる。

(a) 未処理土では最適含水比の時点で粒子の最大配向度が完成する。湿润側に入ると分散よりも更にクラスタを形成する。この点はLambeの理論と異なる。

(b) 分散処理土では乾燥側においてまずクラスタが形成され、湿润側において更に分散効果による粒子の完全な分散が行われる。

(c) 凝集処理土では乾燥側における凝集効果はむしろなく、含水比増加による分散効果が促進され、湿润側に入ると凝集材による凝集効果が始まって發揮されだしてくる。この結果は湿润側における

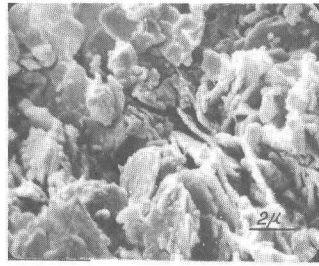


写真-5 テトラリン酸処理のオリン H1断面

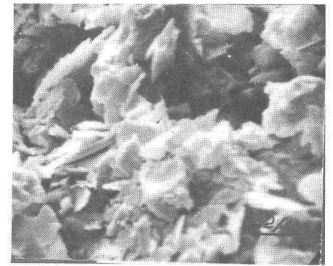


写真-6 石灰処理のオリン H1断面

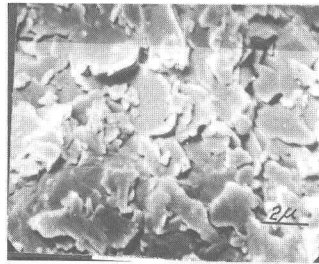


写真-7 H3断面

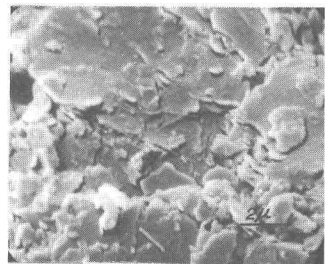


写真-8 H3断面

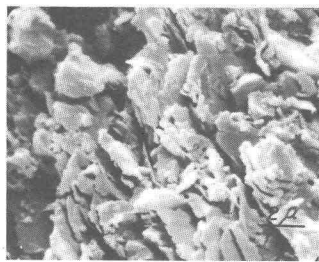


写真-9 V1断面

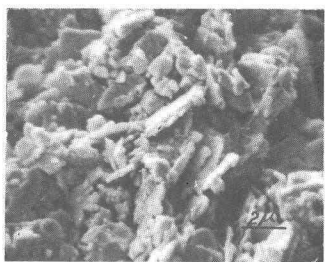


写真-10 V1断面

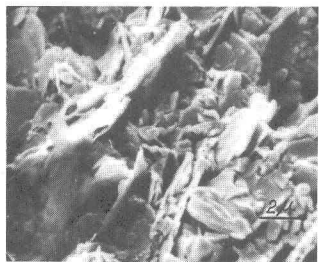


写真-11 V3断面

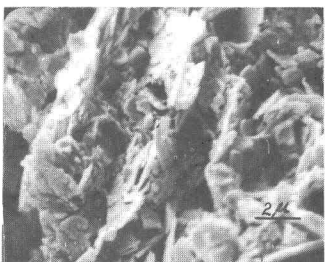


写真-12 V3断面

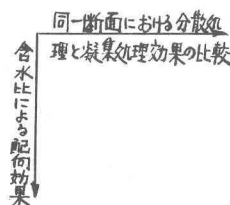


図-4 写真-5~12の配向効果説明図

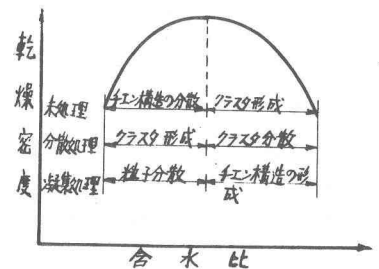


図-5 分散凝集処理材と含水比の締固め構造におよぼす影響

チエン構造も形成する。(写真-12)

以上の結果から分散材、凝集材のりかんにかかわらず、その処理効果があられるのはすべて湿潤側であることがわかる。分散材の湿潤側における役割りはクラスタ構造の分散にあり、凝集材の役割りは乾燥側における含水比による分散粒子を更に集合せしめてチエン構造と形成せしめることにある。

Ⅳ ベントナイト締固め土の構造

(写真-17~22) 本研究の写真中に示してはいないが乾燥側におけるベントナイト締固め土の構造は、分散凝集処理、未処理あるいは断面方向のりかんにかかわらず、その構造差がみられない。皆一様に微小球状構造の集合体のようなものである。これはモンモリロナイトの粒子が非常に小さく、そのために混合が不十分になりやすく、かつ常に走査電顕の分解能以下にあることに起因するものと考えられる。粒子が電顕の分解能以下にあるとき、その像は写真-17, 18, 19 に示すように星雲状のような形に見えるのが普通である。写真-20 は分散処理によるクラスタの分散状態を示し、写真-21 は石灰凝集処理効果によるクラスタのランダムな集まりである。写真-17~22 はいずれも湿潤側におけるH, V断面を示したものである。

参考文献

- (1) Lombe, T.W. (1944): J. Boston Soc. Civil Eng. 41, 184-207
- (2) 山内 (1959): 土木学会論文集, 1065 31-36
- (3) M. Chaudhry, A.S. (1962): Proc. Conf. Soil Stab. IET 67-69
- (4) Sloane, R.L. et al. (1966): Clays and Clay Minerals, Proc. 14th 49-56
- (5) 花尾, 栄 (1971): 土木学会論文報告集, 10189, 62-77
- (6) Smalley, I. et al. (1969): Nature 222 80-81
- (7) Sides, G. (1971): Canad. Geotechnical J. 8(3) 391-399
- (8) O'Brien, M. R. (1972): Canad. Geotechnical J. 9, 120-122.

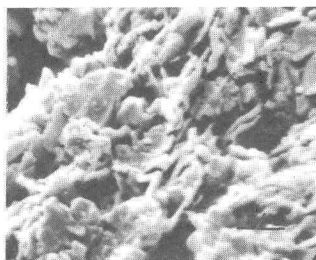


写真-13 未処理カオリン V2断面

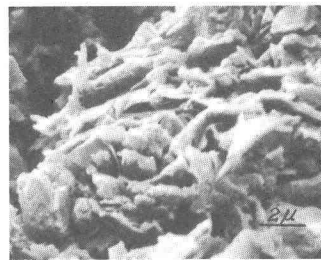


写真-14 テトラフルボ酸処理カオリン V2断面

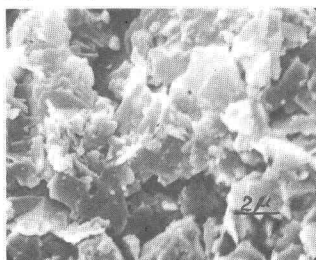


写真-15 テトラフルボ酸処理カオリン H2断面

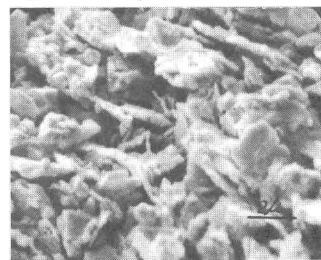


写真-16 石灰処理カオリン V2断面

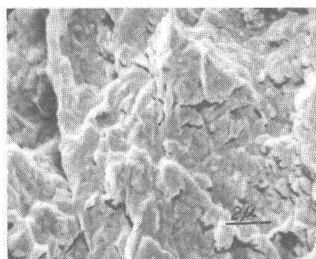


写真-17 未処理ベントナイト H3断面

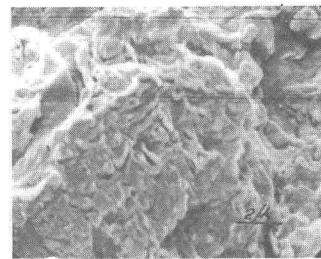


写真-18 V3断面

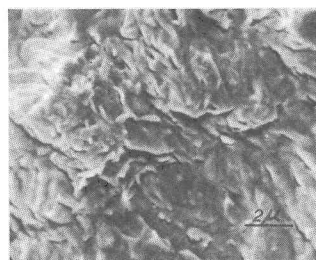


写真-19 テトラフルボ酸処理ベントナイト H3断面

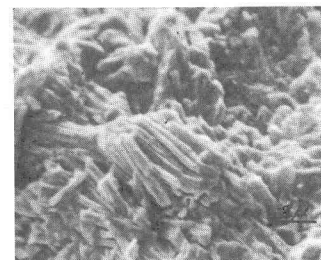


写真-20 V3断面

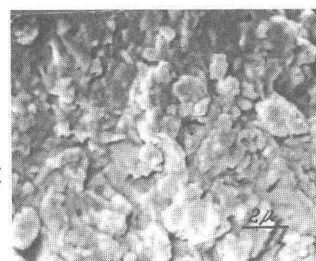


写真-21 石灰処理ベントナイト H3断面

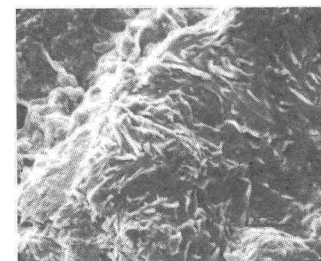


写真-22 V3断面