

電子顕微鏡によるマサ-石灰処理土の構造的な研究

京都大学工学部 正 員 工博 松尾新一郎
京都大学大学院 学生員 工修 〇 宋 永焜

I まえがき この研究は電子顕微鏡を用いて、土質安定の立場から養生日数と共に変化するマサ-石灰処理土のマトリックスの構造的な変化および反応生成物と空隙の発生、成長、消失などの形態的変化を研究したものである。過去の本邦内外における土-水-石灰システムの研究で電子顕微鏡を用いておこなったものは、全て分散状態の試料を用いておこなわれてきた。この場合、過剰水分のもとで、個々の粒子との反応を純理学的に研究するものであるが、我々土質工学的立場から見ると、石灰と土との反応は常に有限水分を持つ締固め土の中でおこなわれ、従つて、上述の状態とはその反応過程、環境において大いに異なっている。一方、技術的には、反応を構造物の中でみようとすると電顕特有の試料作りの困難さがこのような研究の発展を阻害して来た。故に、我々は本研究で先づ試料の作製法を克服し、土質工学的立場から、有限水分を持つマトリックス、すなわち、石灰処理締固め土を上述の目的から研究して来た。

II 試料とその作製法 用いた試料は74μ以下のマサ土に10%の消石灰を混合して、締固め、パラフィンでシールして養生した。電顕観察試料の作製法は、ポリスケレンによる2-Stage Replica Method である。この場合、一種の試料に対して、常に4つ以上の試料膜について観察した。試料の作製法の詳細はスライドで説明する。使用した器械は、日立HS-7S型、最大電圧50KV である。

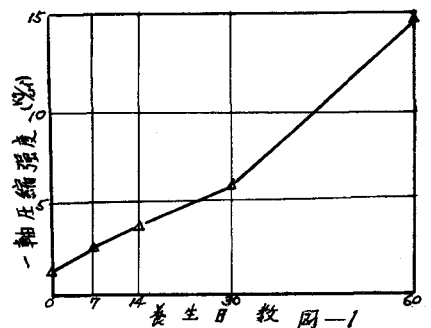
III 一軸圧縮強度 養生日数と共に変化する一軸圧縮強度の変化を図-1に示す。養生日数と共に起こる強度の増加は、内部反応が正常に行なわれていることを暗示するものである。特に、長期養生の場合の強度は、ほとんど、反応生成物のために、起こる強度だと考えられている。

IV 電顕観察

(A) マサ未処理分散土(P-30) 主として、ハロイサイト、カオリナイトが見られるが、その他の粒子の形状は明瞭でない。

(B) マサ未処理締固め土(P-1~2) マトリックスはカオリン、ハロイサイト、一次鉱物の表面を基底として存在している。一次鉱物の表面は非常にラフである。P-2には各粒子間の境界に存在する空隙が見える。

(C) マサ石灰処理土の反応生成物(P-3~8) 養生初期の粒子辺縁のゲル状物質(P-3) 11 Å Tobermorite か CSH(II) に属する棒状、またはたばこ状の反応生成物(P-4, 6, 8,)、また P-8 にみられる薄片状の物質は C S H (I) タイプの反応生成物と思われる。P-7 は養生第8週試料に普遍的にみられる状態であり、粒子の侵食と崩潰が進んだ結果、マトリツ



クス全体に広がっている反応生成物の「芽生え」と思われる。一方、P-5には、粒子間に入り込んだ石灰粒子があり、ゆずかにその表面から針状の結晶をのびしつゝある。粒子の辺縁は初期に形成される一様な非晶質物質で囲まれてゐる。P-6で注目すべきことは反応生成物が互いにかみ合い、マトリックスの中で、あたかもコンクリート中の鉄筋のような役目をなしている。これは反応生成物表面の粗度やシワ、あるいは棒状、たばこ状、および繊維状の反応生成物が互いにかみ合つて、長期強度の一部、あるいは全部となつてゐる説と一致する。

(d) マサ石灰処理土のマトリックスの変化(P-9~13) 分立粒子、侵食による辺縁の崩潰、粒子がマトリックス中に組みこまれようとする状、分立粒子、ゲル、等の区別がなくなり、互いに溶接し合つたようなマトリックスの一体化という過程がこの一連の観察の中にみられる。この場合、同一養生週の中にも、種々の違つた相が存在することは、有限水分の中では、反応は急速に進行してゐないことが分かる。3次元的に均一なマトリックス相が形成されるまでには、長年月の養生が必要であることが分かる。

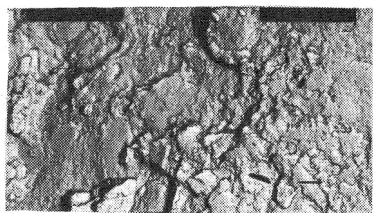
(e) マサ石灰処理土にみられる一次鉱物表面の変化。(P-14~18) P-14は雲母、長石、石英等の一部よりなるマトリックスであり、P-15では特に長石表面のカオリナイト化したものがみられる。2次鉱物の粘土鉱物等は数日でも反応生成物を生成するにもかかわらず、1次鉱物の表面は一個月でも、あまり侵食もされず、且つ、反応生成物も出ないことが分かる。事実、石英や雲母の反応生成物が存在する否かは、X線回折によつても明らかでない。P-18は比較的脆い一次鉱物の表面の侵食により、多孔状となつてゐる。

(f) モンモリナイト石灰処理土の反応生成物(P-19~21) 石灰粒子と粒子の表面に成長した針状反応物(P-19)、 $11 \text{ \AA}$ *Tobermonte* かまたは $\text{CSH}(I)$ と思われる板状物質(P-20)、反応生成物の「芽生え」(P-21)がみられる。P-19では養生の進むにつれて、この石灰粒子は消失し、徐々に針状反応物が全体をしめるようになるものと思われる。

(g) モンモリナイト石灰処理土のマトリックスの変化(P-22~24) ケバ状のモンモリナイトの分立粒子を持つ多孔状のマトリックス(P-22)、カオリン、石灰、一次鉱物粒子の表面を含むマトリックス(P-25)、80%溶接化したマトリックス(P-29)がみられる。モンモリナイトは最も反応に対する活性を有している鉱物であるが、P-23にもみられるように4週間養生後でもまた未反応の石灰がみられる。これは特に1次鉱物粒子によつて囲まれた所において著しい。

(h) カオリン石灰処理土の反応生成物(P-25~27) 六角板状のカオリンの辺縁に針状の生成物(P-25)、フィルム状生成物(P-26)、 $\text{CSH}(I)$ の生成物(P-27)がみられる。P-26の右端の *Rigid* な面は、石灰の侵食、および表面に成長した生成物のためである。

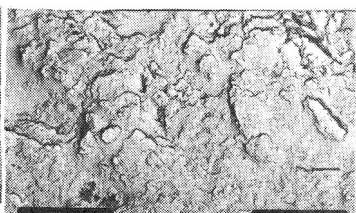
(i) カオリン石灰処理土のマトリックスの変化(P-28~29) P-28はカオリンに混在する1次鉱物の表面上にカオリン粒子がついてゐる状態である。カオリンの反応度は比較的非活性であるので、4週間養生の試料であるにもかかわらず、侵食の後が顕著にみられる。P-29は4週間養生におけるカオリンマトリックスの溶接化状態である。マトリックス内に溶入しようとしてゐる被侵食カオリンの状況が明瞭にみえる。



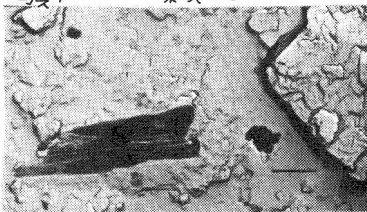
寫真P-1 マサ未処理



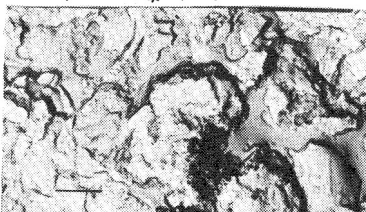
P-2 未処理



P-3, マサ石灰処理上, 1 week



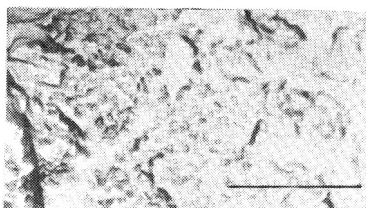
P-4 3 week



P-5 3 week



P-6 8 week



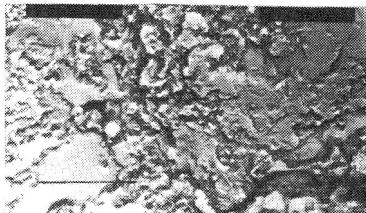
P-7 8 week



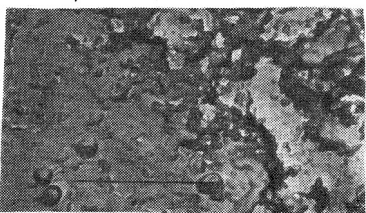
P-8 8 week



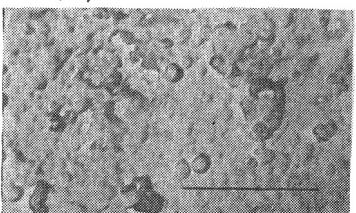
P-9 5 week



P-10 8 week



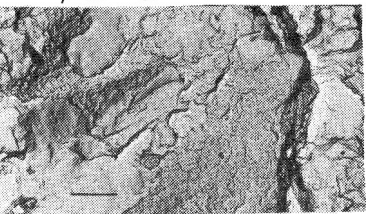
P-11 8 week



P-12 8 week



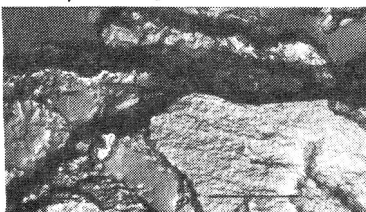
P-13 8 week



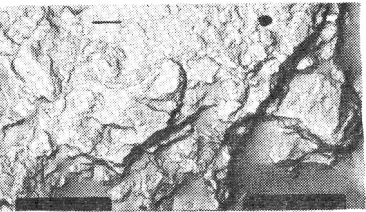
P-14 5 week



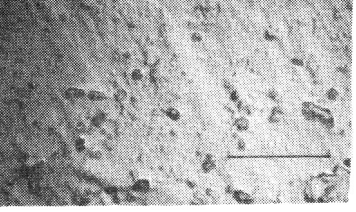
P-15 5 week



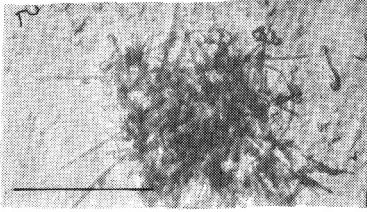
P-16 1 week



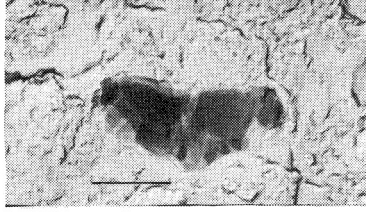
P-17 1 week



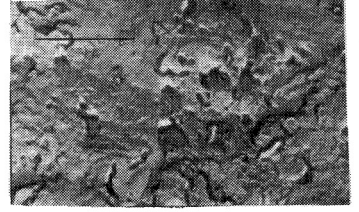
P-18 3 week



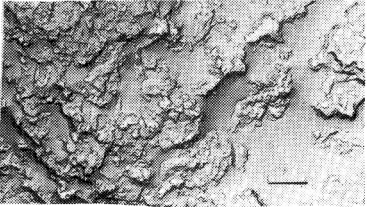
P-19 エゼライト 4 week 石灰処理土



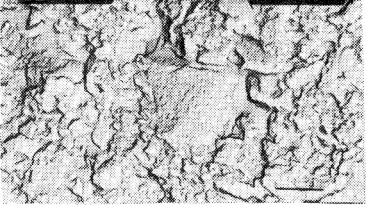
P-20 4 week



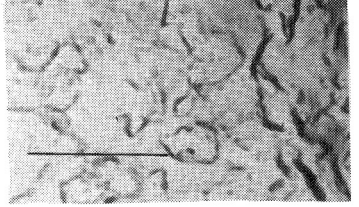
P-21 7 week



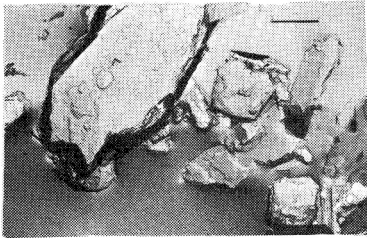
P-22 2 week



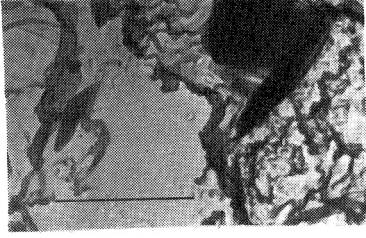
P-23 4 week



P-24 7 week



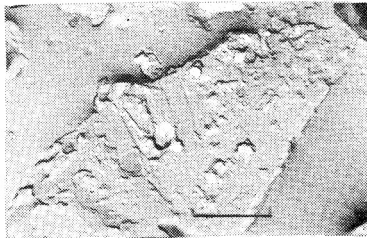
P-25 カオリン石灰処理土 4 week



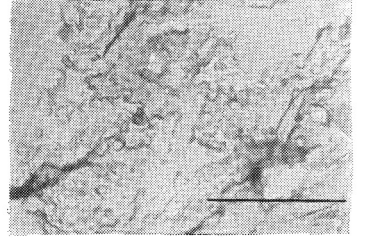
P-26 7 week



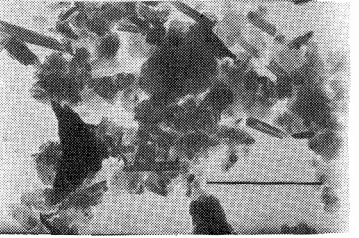
P-27 7 week



P-28 4 week



P-29 7 week



P-30 マチ泥分散土 7 week

Ⅴ 結論 以上の顕微鏡観察の結果を総括的に述べると次のようになる。

(1) 生成反応物は $11\text{\AA}$ Tobermorite, CSH(I), (II) 型物質, その他、非晶質型生成物がみられる。この生成物は、マトリックス中において、その表面の粗度による摩擦力の増加、繊維状、あるいは、棒状物質のからみ合いによる鉄筋の役目等をし、長期養生強度の一部、あるいは全部をになっている。

(2) 一般に養生7週以後、普遍的に反応生成物の発生がみられる。

(3) 有限水分を有するマトリックス中での反応は急速ではない。また、1次鉱物粒子表面、あるいは、それに囲まれた地質の反応は進みにくい。未反応石灰がそこに多くみえる。

(4) 2次鉱物よりなるマトリックスは、第7週以後に各成分粒子、石灰などの境界が不明瞭になり、一体化する傾向がみられる。またH断面、V断面の区別はつけられない。

参考文献

(1) Graft, J. B. "The process involved in the lime stabilization of clay soils" Proc. Ind. Conf. Aust. Road Res. Bd. (1964)