

石灰処理土の破壊に関する走査電子顕微鏡的研究

京都大学工学部 正員 工博 松尾新一郎
京都大学工学部 正員 工博 宋 永焜

1 まえがき 近時電子顕微鏡を用いた破壊のメカニズムに関する研究が金属やその他の分野においてはなほなしい発展をとげているにもかゝらず、土質工学の分野においては、ほとんどこの種の研究がみられな。この理由は土特有の複雑な性状にもよるものであるが、また旧態依然とした手法に固執した考え方にもよるものと思われる。土質工学の分野において単一分散粒子の形状せん断、圧密、および締固め後の断面構造を電顕で研究したものも現時点ではすでに少なくなりが、破壊のプロセスそのものを研究したものはまたなり。土壌学の分野においては、光学顕微鏡による Brewer¹⁾ の観察結果と走査電顕によるものを結びつけようとした研究も 2~3 あるが自然土の破壊断面を観察したものは Eswaran²⁾ の研究があるだけである。本研究は石灰処理土の破壊プロセスの研究の一環として、先づ一軸圧縮破壊と間接引張破壊の破壊プロセスを巨視的および微視的な立場から研究したものである。板状粘土では特にその配向性、砂質土では破壊断面上の1次粒子の変化に着目している。なお、近時土の引張破壊の重要性が弾性係数を果にする多層路盤の境界領域の応力状態などから認識され始めている。本研究はこの重要性から、また圧縮破壊との比較の上からも重要と思われるので間接引張試験も同時に行なつた。

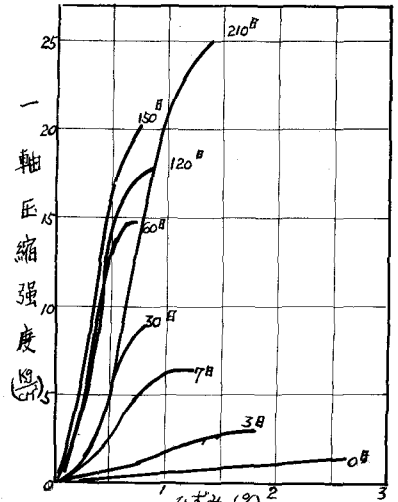


図-1 応力-ひずみ曲線(一軸圧縮)

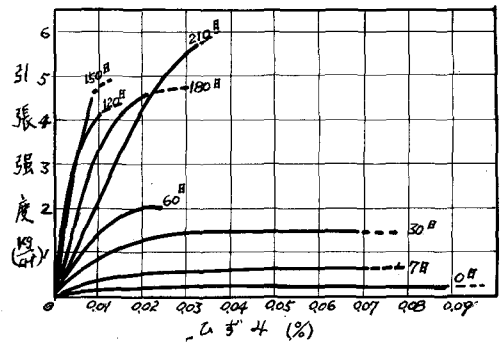


図-2 応力-ひずみ曲線(Indirect Tension)

II 圧縮と引張試験による応力-ひずみ曲線 一軸圧縮試験による応力-ひずみ曲線(図-1)と引張強度試験による応力-ひずみ曲線(図-2)と比較すると前者の最大強度は常に後者の数倍におよぶが、両者とも石灰処理による長期養生の効果は歴然としてゐる。すなわち、両者とも1ヶ月以上の養生でも強度は増大しつゝあり、石灰処理における化学反応作

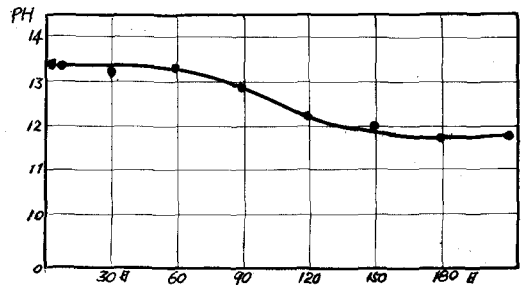


図-3 養生日数によるPH変化(マサ土)

用を重視できないことがわかる。一般に化学反応作用は溶液状にした土のPH値の相対的变化で判断されるが、この状況を示したのが図-3である。この図から養生60日における屈折点は皆に引張強度の場合と良く対応していることがわかる。練粘土鉱物のPH値は養生10~20日位でその屈折点が表われるが、砂質土では1次鉱物のアルカリによる難溶性など原因が考えられるので比較的長期間かゝる。これから引張強度は石灰による物理的接合よりも化学反応作用による生成物の接合が重要な役割を持つことがわかる。

Ⅲ 石灰処理カオリン締固め土の破壊断面

写真-1~写真-5は各養生供試体の一軸圧縮破壊断面であり、写真-6~写真-9は間接引張破壊による各断面を走査電子顕微鏡で観察したものである。写真-1~2は石灰処理によるカオリン粒子の凝集構造がみられ、養生による粘結効果が進むにつれ、破壊断面上にせん断領域(Shear-band)が形成される。このせん断領域は固結が進むにつれ、広い領域から狭い領域に縮小される。この状態を模式図的に示したのが図-4である。写真-5は写真-4のせん断領域を拡大したものであるが写真-1、2に比してカオリン粒子の辺縁の著しい侵食崩壊がみられると同時にせん断面に平行な001面の配列がみられる。一軸圧縮破壊面上の間接せん断領域が粒子の001面の平行配向によって構成されるに比し

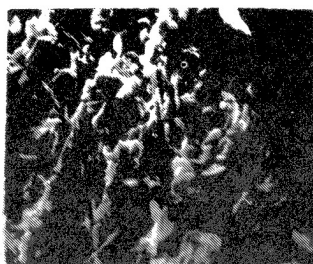


写真-1 石灰処理(10%)カオリン、1日養生後の一軸圧縮破壊断面

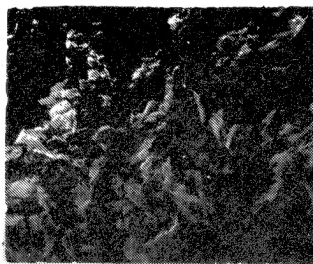


写真-2 1日養生



写真-3 2ヶ月

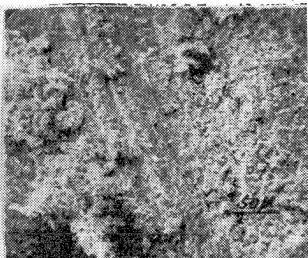


写真-4 6ヶ月

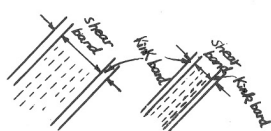


図-4 養生効果によるshear bandの縮小

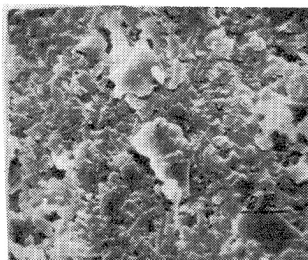


写真-5 写真-4中shear bandの拡大像

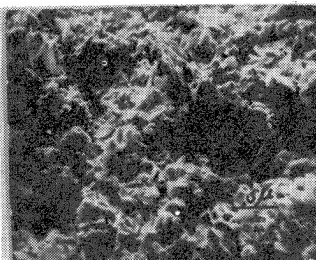


写真-6 石灰処理カオリン1日養生後の引張破壊断面

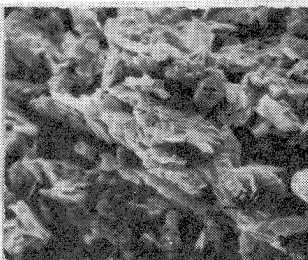


写真-7 2ヶ月

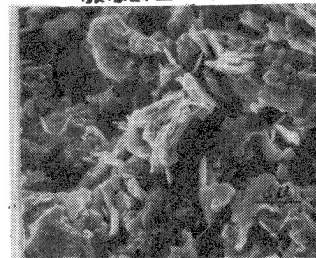


写真-8 4ヶ月

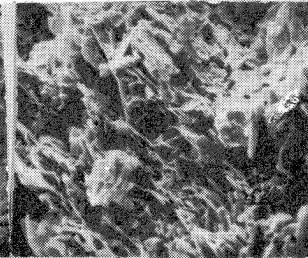


写真-9 6ヶ月

て、向接引張破壊断面は粒子の板面断裂による破壊であることが写真-8~9に明瞭にみられる。この板面断裂は粒子板面の侵食が進めば進むほど激しくなることは写真-6と写真-9を対比すれば明らかである。

また、図-1と図-2に示すように一軸圧縮強度が常に引張強度の数倍に及ぶことは、このような粒子の破壊様式によるものと見られる。すなわち、一軸圧縮破壊は常に板状面の平行配向による破壊であり、向接引張破壊は板面の断裂による辺縁破壊である。写真-9では断裂後の粒子辺縁がみられるが、これは石灰侵食による辺縁の崩潰に比して明瞭な線形をもっているのが特徴である。

Ⅳ 石灰処理マサ土の破壊断面上における1次粒子 マサ土のような砂質土は、主として板状粒子から粘性土に比してその粒子の配向性はあまり問題にならない。破壊は一般に *path of weakness* を通じて進行するが、この破壊経路が粒子間を通過するのか、または粒子それ自体を貫通して破壊するかは注目すべき問題である。破砕性の激しいマサ土については、この問題は一層重要である。

したがって写真-10~13に示される結論から述べると破壊時の *path of weakness* は一般に長石粒子を貫通し、石英粒子間を通過することがいえる。その他に雲母粒子をも貫通する。写真-10は長石が *path of weakness* によつて貫通した断面を示し、写真-13は石英粒子表面のせん断条痕である。粘土と石灰のプラスチックにあられた石英粒子の表面には常にこの種のせん断条痕がみられる。写真-12は破壊時の粒子の引き抜きによる向けきがみられ、この引き抜かれた粒子は石英粒子であることは、その風化度から容易に推測することができる。



写真-10 破壊断面上の長石粒子

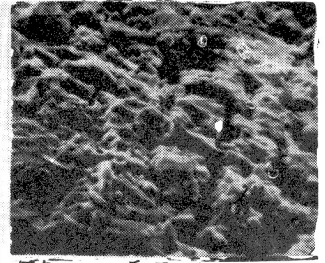


写真-11 長石粒子

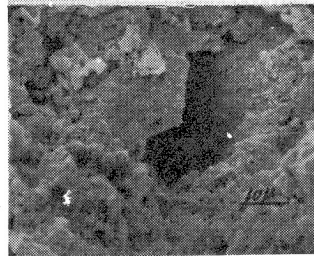


写真-12

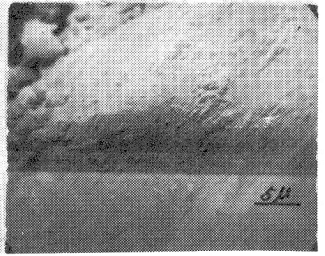


写真-13 石英粒子

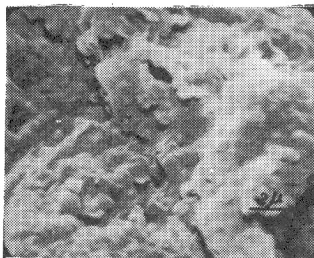


写真-14 石灰処理ベントナイトのマリックスの変化 18日養生



写真-15 2ヶ月

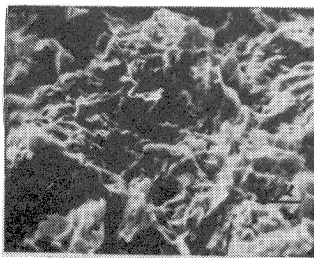


写真 16 6ヶ月



写真 17 2年

V 石灰処理ベントナイトの養生によるマトリックスの変化

写真-14~17は石灰処理ベントナイトの2年養生によるマトリックスの変化を示す。モンモリロナイトは粒子が非常に小さく、走査電顕の分解能以下になることが多く、その場合の像は一般に写真-14のような星雲状のようになるのが普通である。これは、またNaモンモリロナイトの特徴でもある。写真-15はモンモリロナイトの辺縁が多くみられる方の像であるが養生の進むにつれて写真-16~17のように各マトリックスの均一化、融合溶解が進んで行くことがわかる。写真-20 3ヶ月

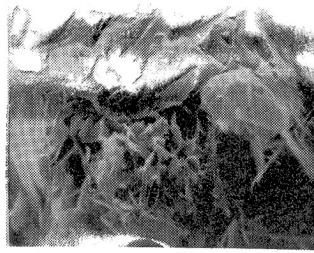


写真-18 石灰処理マサ土のマトリックスの変化 14日養生



写真-19 1ヶ月

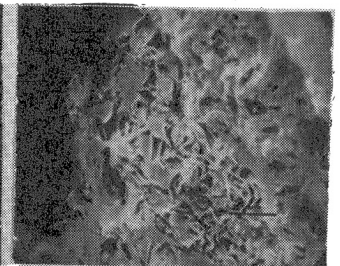
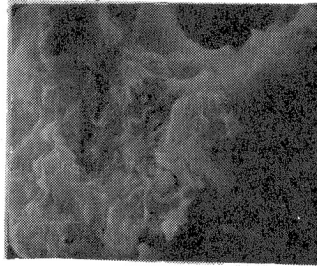


写真-21 6ヶ月

なお、2年養生してもベントナイト

試料に反応生成物はみられないが、これは最適含水比で締固められたベントナイトの反応性と関連する問題であることは、前にも述べてきたことである³⁾。

VI 石灰処理マサ土の養生によるマトリックスの変化

写真-18~21は石灰処理マサ土の6ヶ月養生によるマトリックスの変化を示したものである。写真-18には、主として石灰がみられ、中央にマサ土粒子がみられる。養生3ヶ月になると写真-20に示すようにマトリックス中に針状の生成結晶が多数みられる。この針状結晶が生長し、粘土粒子と石灰からなるマトリックスの中に埋没して行く状態が写真-21にみられる。写真-21の左右には完全に融合均一化したマトリックスがみられ、徐々に中向の方へ進行して行くことがわかる。

VII 結論

本研究で得た主要な結論を述べると次のようになる。

- 1) 一軸圧縮破壊は板面に沿う破壊であるが引張破壊は板面断裂破壊である。
- 2) 一般に一軸圧縮破壊における間接せん断領域は養生の進むにつれて狭くなつていく傾向がみられる。
- 3) 砂質土の一軸圧縮破壊は長石粒子、雲母粒子を貫通する破壊であり、また石英粒子の間を通過して破壊する。これは1次粒子の風化度や破砕性に起因するものである。
- 4) ベントナイト、マサ土の石灰処理マトリックスの最終状態は均一融合したマトリックスであるがともに反応生成物はみられない。

参考文献

- 1) Brewer, H.: Fabric and Mineral Analysis of Soils, John Wiley & Son, New York, 1964
- 2) Eswaran, H.: Electron Scanning Studies of the Fabric of Fracture Surfaces, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35, 789~790, 1971
- 3) 松尾新一郎, 新堀: X線および電子顕微鏡による石灰処理土の構造的な研究, 林学論叢第193号, 1971, 57~68