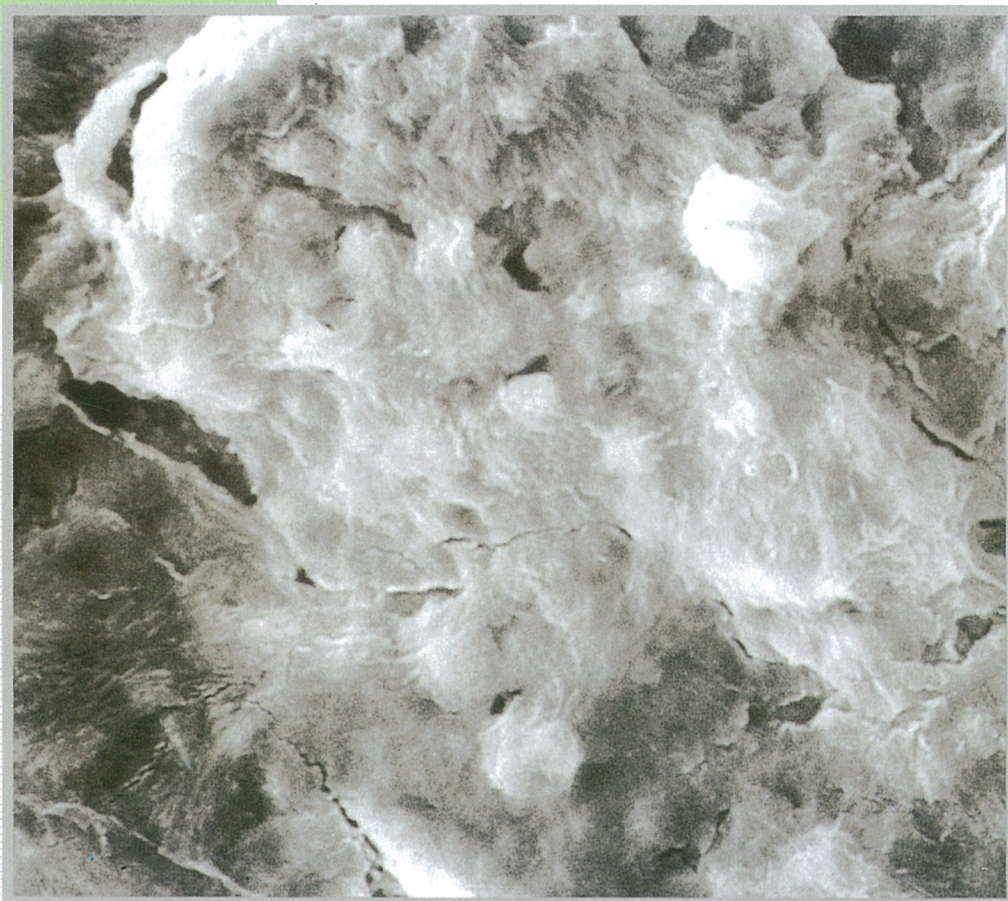


# ミクロの目がとらえた謎

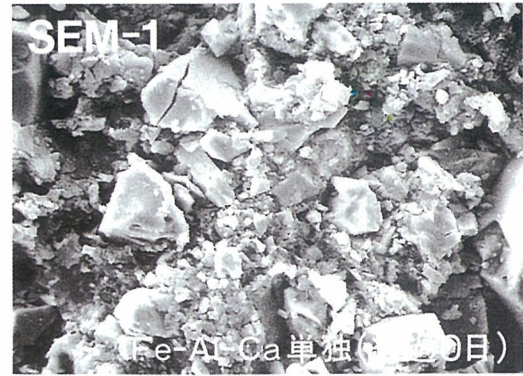
■  
〔Fe - Al  
粘弾性〕の反応原理



■  
Fe石灰技術研究所 ■

# Fe-Al-Caの化学反応検証モデル

注) 珪石粉末の鉱物系はFe-Al酸化物との識別(X線解析および元素組成)が容易であるので、Fe-Al-Caとの混合材として使用し、Fe-Al-Caの反応を検証した。

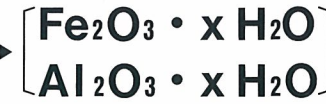
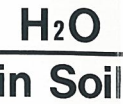
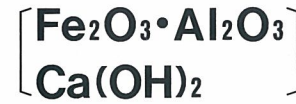


SEM-1 Fe-Al-Ca単独(経過200日)  
Fe-Al-Ca安定材単独の突き固め供試体。(×3,000)

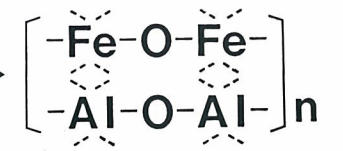


SEM-2 珪石粉末単独(経過0日)  
珪石粉末単独の突き固め供試体。(×3,000)

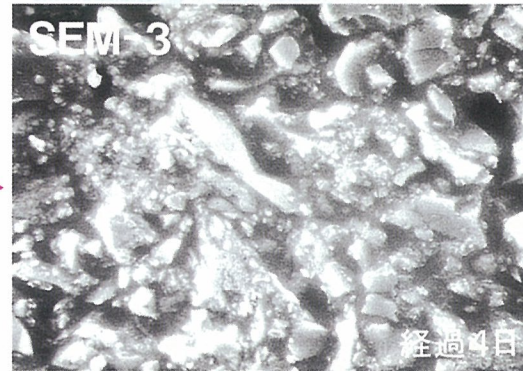
+



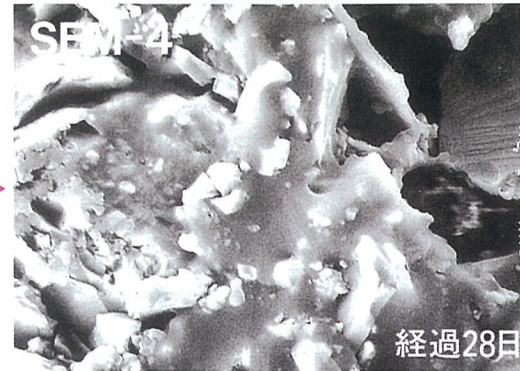
加 圧  
原子間結合状態変化



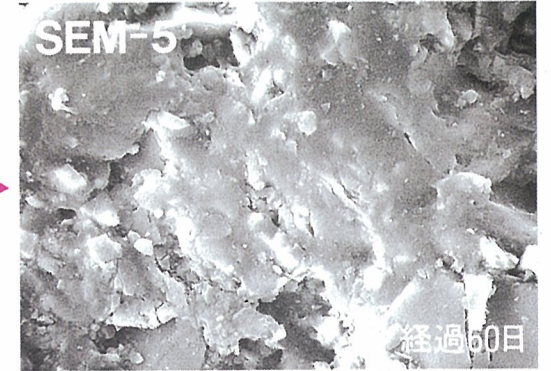
複合結晶状態



SEM-3 酸化鉄・酸化アルミ混合物が水和されて溶けはじめる。(×3,000)



SEM-4 鉄アルミ酸化混合物の水和が進んでゲル状で分布。(×3,000)



SEM-5 鉄・アルミ加水酸化物混合体が珪石を包んでO<sub>2</sub>の存在下で結晶化。(×3,000)

**すきどこ 鋤床形成の原理**

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>…Fe<sup>3+</sup>**  
作土中の3価の鉄は作土中の酸素が不足すると還元されて2価の鉄に変わる。

**Fe(OH)<sub>2</sub>…Fe<sup>2+</sup>**  
2価の鉄は比較的溶けやすく、水の浸透により下層へ移動する。

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>O**  
下層に移動した2価の鉄は酸素の供給等により酸化されて3価の鉄になり、沈積し、しだいに結晶化する。

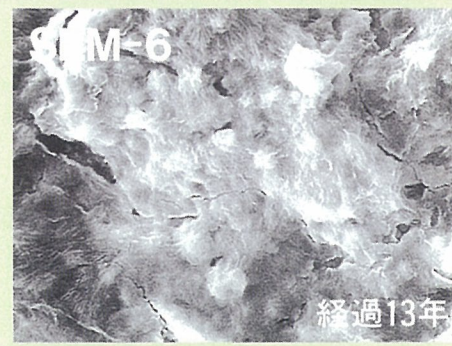
硬い鋤床があるから水が下に落ちなかったり、牛、馬、耕運機の作業が可能となる。自然の中では鉄が溶けると言っても僅かであるため、鋤床の形成には約60年の歳月を要するが、Fe-Al-Ca系では鉄・アルミニウムのゲル化→結晶化は速やかに進行する。

## 【Fe-Al 粘弾性】の反応原理

微粉状の鉄アルミ酸化物と消石灰との混合物を、土に添加混合することによって、消石灰が土壌水分に溶解して強アルカリ性の状態となり、Fe-Al酸化混合物は水和されて、活性な鉄アルミ加水酸化物を形成し、骨材粒子間にゲル状態(糊状)で分散される。加圧などの物理的要因ならびに酸素共存下で、不可逆的化学変化を受け、時間的経過に伴って結晶が発達し、アルミ特有の珪酸との強い結合力と鉄特有の粘弾性を示し、これらが複合して構造的に安定する。このことは、干拓地などにおける水田の鋤床形成における鉄の形態変化過程と類似している。

珪石粉末に消石灰を添加(通常の石灰安定処理)し、材令を経過させても、珪石単独供試体との形状的な差異(非晶質化等の形態変化)は識別できない。

(写真は共に×3,000)



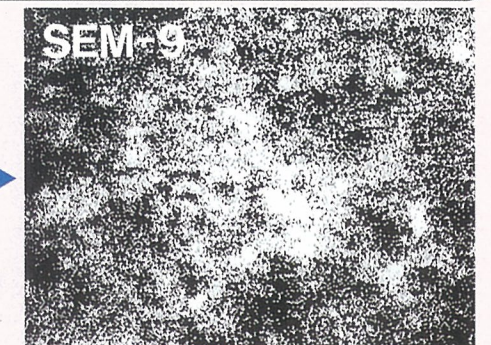
SEM-6 現場コア(材令13年) (×3,000)  
施工後13年経過の供用中の広域農道(佐賀県白石町地先)から採取したFe-Ca処理土。SEM-5と極めて類似している。



SEM-7 現場コア(材令30年) (×3,000)  
施工後30年経過の供用中の国道10号線(大分県山香町地先)から採取したFe-Ca処理土。SEM-5と極めて類似している。



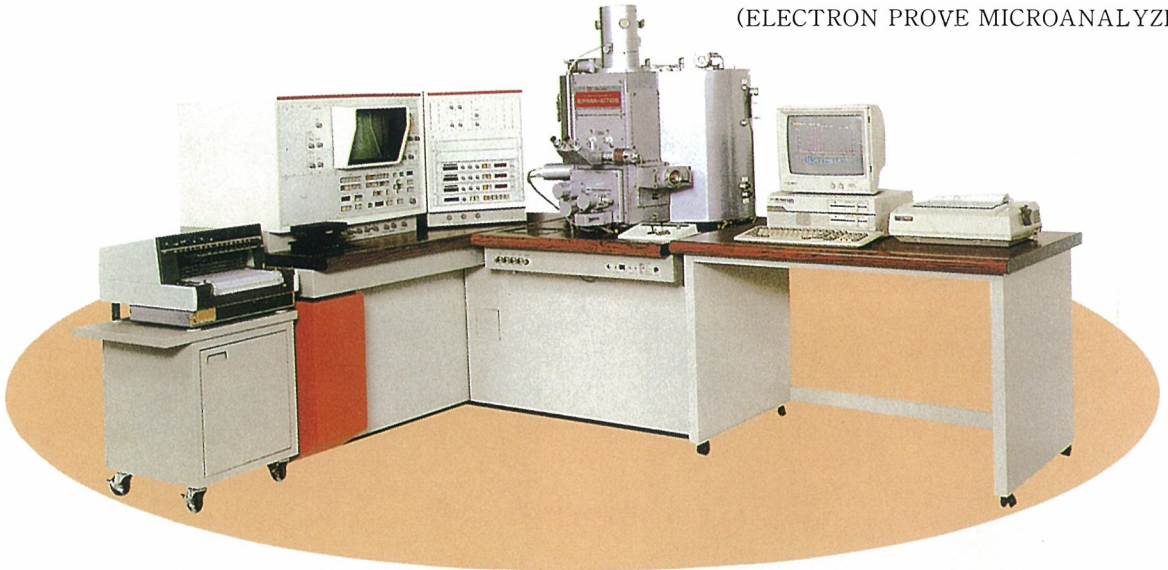
SEM-8 現場コア(SEM-7資料) (×600)  
SEM-7で観察される鉱物が、鉄加水酸化物であるかを識別するための鉄成分の面分析画面(SEM-9)と対応する資料の形状画面。



SEM-9 面分析(SEM-7資料) (×600)  
SEM-8と対応する鉄成分の面分析結果で、斑点は鉄成分の分布状態を表しており、一連の生成鉱物は鉄加水酸化物であることを示している。

活性なFe-Al加水酸化物

粘弾性的挙動を示す架橋構造



当該工法の最大の特徴は、土の化学的組成に対応して改質材の主要成分組成を特定することにより、安定処理土の強度特性を適用に応じてコントロールしようとするところにある。すなわち、自然土等を用土とするFe-Al-Ca処理土の変形特性はFe系成分に、強度はAl系成分に比例して増大する。その反応機構を最新のテクノロジーを使ったEPMAの電子の目が捕えた。

## 開発の経緯

Fe系成分と石灰とを混合した土質安定材は“Fe石灰”と称し、主として、軟弱路床上の舗装構築における路床の補強工法（サンドイッチ舗装工法に該当）として、北部九州地域を中心に約40年間に延べ2,633万㎡の適用実績と高い適用評価を頂いてきた。その適用効果に関する材料工学的検証と、反応原理の解明が、創業者をはじめとする当社の永年の研究課題であったが、この度、研究成果の第一報として反応原理に関する資料をお届けするに至った。

なお、当該研究と同時におこなった、反応機構と対応する材料特性については、引き続き第二報としてお届けするが、Fe石灰工法の優れた適用の効果は、消石灰との共存下で形成される鉄アルミ加水酸化物の粘弾性による衝撃緩和作用であり、セメントコンクリートで代表される弾性体とアスファルトコンクリートで代表される粘弾性体との中庸的特性を示す舗装の構成材料であることが材料工学的に検証された。

Fe石灰工法を適用した道路舗装が、ひびわれ破壊の抑止のみならず、アスファルト舗装の流動わだち掘れをも抑止して、舗装の耐用年数を著しく増大する実績を示すのも、この粘弾性的特性によるものである。