

徳知工業大学

正会員 森野 奎二

同上

学生会員 布谷 一夫

1. まえがき

電子顕微鏡に取付けられた引張装置によって、顕微鏡内で試料に荷重を加え、破壊に至る過程と破断面を直接に観察した。観察試料としては、金属、岩石、セメントコンクリート、その他いろいろな材料について実施したが、本報告文では、モルタルの観察結果について述べる。

2. 観察試料の作製方法

4×4×16cmのモルタル供試体から、ダイヤモンドカッターで図1のような、約10×40×1.5mmの長方形板を切り取った。直ちに10%塩化アンモニウム溶液で、表面に付着した遊離Ca(OH)₂を取り除き、無水アルコールに浸漬し、脱水と洗浄を行った。次にイオンコーティング装置(VX-10型, JFC-1100形)に入れ、真空脱水し、Pt あるいはAu によるコーティングを長方形板の全表面積に施した。

3. 電子顕微鏡用引張装置

電子顕微鏡用引張装置(HH-TS2形)を写真1に示す。試料の取り付けは、写真2のドライバーで示したように試料押え板を介して固定した。荷重は写真1の左方のノブを回転することによって加え、また歪量をも得た。回転方向を逆転すれば圧縮荷重となる。引張荷重の大きさは、半導体荷重変換器(WMS-12B50H形)によって検出し、写真3の左方の直流増幅器(THA-3A形)によって、その指示値を読み取り、換算表を用いて算出した。写真3は測定状態であって、午前向の3個のノブは試料の移動と回転に用いる。走査電子顕微鏡(S-450)は、倍率20〜20万倍、分解能60Åまで可能、加速電圧、2〜30kVである。

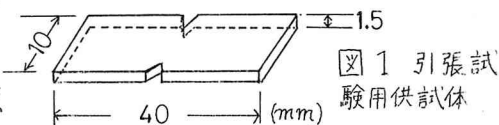


図1 引張試験用供試体

4. 結果および考察

金属供試体を引張ると、クラックの数が徐々に増加して、最も多い所から破壊に至る様子が、明瞭に分かるがセメントペーストのように脆性材料では、伸びが少なく、一気に破壊に至るので、金属ほど容易に破壊挙動をとらせることはできない。金属ではすでに、原子の結晶格子が変形していく様子や格子欠陥から破壊する様子等が示されているが、セメントペーストについて、このようなスケールでとらえることは無理なように思われた。セメントペーストのような水和物では、金属コーティングおよび顕微鏡内の真空状態によって脱水し、収縮によるマイクロクラックが、供試体の至る所に入ってしまう。

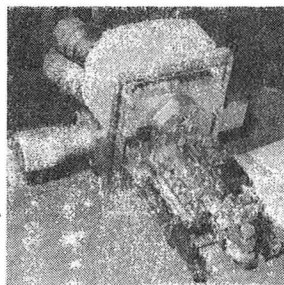


写真1

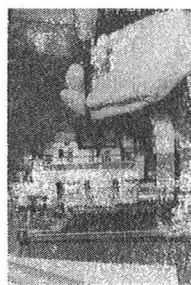


写真2

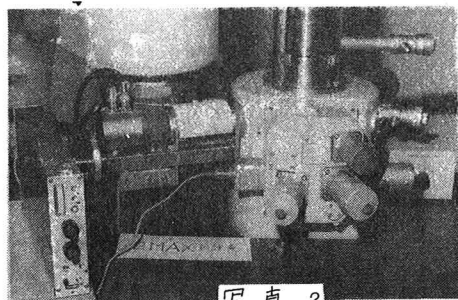


写真3

また、クラック以外にも、キャピラリー空隙が多く、高倍率になるとゲル空隙もあって、空間は極めて多い。材料の特質として持っているこれらの空間と、破壊によって生じたクラックによる空間とを識別することは、高倍率では、検鏡視野が狭くなることもあって困難であった。破壊クラックの識別は、ペースト特有の上記の空間よりも、幅や長さが大きくなって初めて分かるようになるので、クラックがかなり進行してからである。巨視的には歪の増加としてとらえられるが、微視的にはクラックの増加である。最大荷重近くでは、破壊クラックの先端に未破壊部分が残っていて、そこでは破壊挙動をとらえることができる。

写真4は、多くの文献による指摘と同様に、クラックは、骨材、未反応セメント粒子、気泡に沿って生じている。このクラック線上の拡大写真から多くのことが得られたがここでは割愛した。写真5は写真4に示した箇所の破断面の未蒸着部分の写真であるが骨材の界面に板状の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と不規則な形状のC-S-Hらしきものがみられる。帯電(charging)による像障害は比較的少なかった。これは破断面以外は金属コーティングされているので、電荷が周囲に流れやすく、あまり蓄積されなかったものと思われる。像は加速電圧の調整でも得られる。

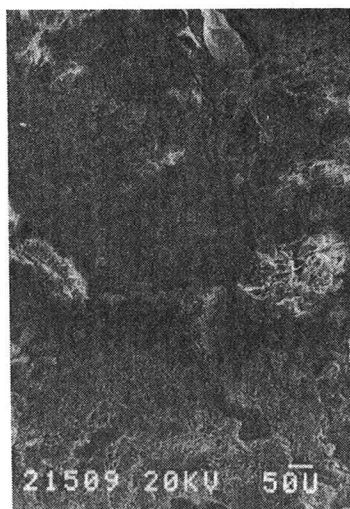
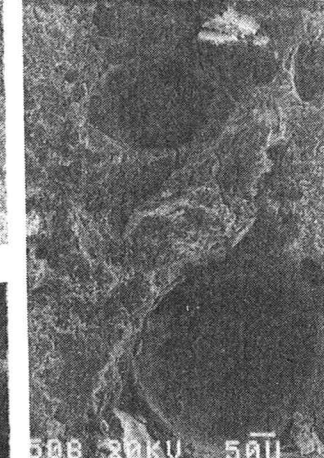
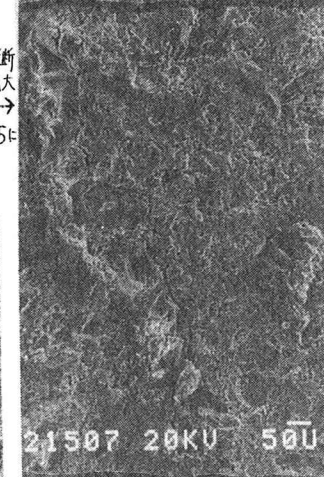
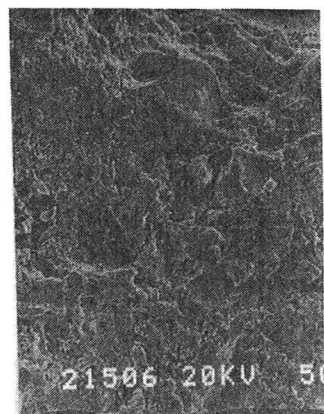
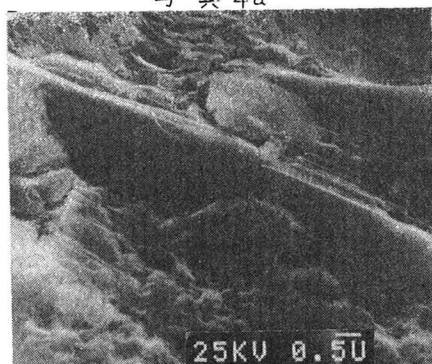


写真4a



↑ 写真4b
(写真4aの上側と写真4bの下側はつながる。)

← 写真5

この破断面と拡大し → 写真5に示す。