

報 告

コンクリート構造物への酸性雨影響調査 (III)
 —コンクリート物性調査結果 (多摩地域)—

古明地 哲人 鎌 滝 裕 輝 朝来野 国 彦
 西井戸 敏 夫 (前参事研究員)

1 はじめに

酸性雨のコンクリート建造物への影響を調査するため平成4年度に東京都区部の10棟の東京都有のコンクリート建造物について調査を実施し、酸性雨の影響と推測される幾つかの知見を得ることができた。

平成5年度は東京都多摩地域のコンクリート建造物について、4年度と同様に、酸性雨の影響調査を実施した。これらの結果からコンクリート材料への酸性雨の影響が幾つかの調査項目について明らかになってきた。

以下に5年度の調査のうちコンクリート物性への酸性雨の影響について検討した結果を報告する。

2 調査方法

(1) 調査期間 1993年12月から1994年2月まで

表1 調査対象構造物の概要

局	NO	所 在 地	解体工期	階数	竣 工 期
財 務 局	1	青梅合同庁舎 青梅市河辺町6-4-1	1994、3/～	3 F	1963年7月31日
	2	小平合同庁舎 小平市花小金井1-6-20	1994、3/～	2 F	1963年12月6日
関 係 局	3	瑞穂農芸高等学校 西多摩郡瑞穂町石畑2027	1994、3/～	3 F	1965年4月
	4	七生福祉園 日野市程久保 843	1994、3/～	3 F	1967年3月
	5	北多摩南部建設事務所田無・保谷工区 保谷市本町6-14-8	1994、3/～	2 F	1972年12月4日
教 育 庁	6	都立小平高等学校 小平市仲町 112	1994、3/～	3 F	1963年3月6日
	7	都立五日市高等学校 西多摩郡五日市町五日市 894	1994、3/～	3 F	1963年4月30日
関 係 庁	8	都立田無工業高等学校 田無市向台町 1-9-1	1994、3/～	3 F	1963年4月
	9	都立多摩工業高等学校 福生市熊川 215	1994、3/～	3 F	1965年7月16日
	10	都立立川ろう学校 立川市栄町 1-15-8	1994、3/～	2 F	1967年6月14日

(2) 調査対象建造物 表1に調査対象コンクリート建造物 (多摩地域) の概要を示す。これらはいずれも1994

年以降、解体が予定されている。

表2 コンクリート建造物1棟のコアサンプル採取箇所、数量、調査項目

場 所 等 項目	採 取 箇 所					
	南面側壁上部 (雨、日照有り) 3カ所			北面側壁上部 (雨、日照無し) 3カ所		
コア サンプル数	1	1	1	1	1	1
コアの分析部位	表面 深部 5 10 cm	表面 深部 5 10 cm		表面 深部 5 10 cm	表面 深部 5 10 cm	
調 査 項 目	圧縮強度			○		○
	中性化	○	○		○	○
	pH	○	○		○	○
	走査電子顕微鏡	○	○			
	X線CT	○			○	
合 計	4	3		1	3	2

(注) ○印は分析実施

(3) 調査項目 コンクリートコアサンプルの採取箇所、調査項目等の一覧を表2に示す。コンクリートコアサンプルの採取箇所は酸性雨の影響を受ける箇所 (南面側壁酸性雨暴露有) と受けない箇所 (北面側壁酸性雨暴露無) について実施した。圧縮強度以外は表面と深部 (内部) の2箇所について分析、測定を行い、酸性雨や屋外大気のコア深部への影響について検討できるように計画した。この方法は、前年度の都区部調査と同様である。

(4) 方法 各項目の方法は以下のとおりである。

- ① 圧縮強度：直径10 cm, 長さ20 cmのコンクリートコアサンプルを採取してJIS A 1107で測定
- ② 中性化：フェノールフタレン法
- ③ pH：試料を粉碎後、試料1、水9で懸濁し、攪拌後、JIS Z 8802で測定
- ④

電子顕微鏡観察：5000倍で観察し、写真撮影 ⑤X線マイクロアナライザー：試料調製後計測点数50000、測定視野5×5cm、計測元素カルシウム(Ca)、イオウ(S)、アルミニウム(Al)、珪素(Si)

3 調査結果

(1) 圧縮強度

圧縮強度の測定結果を図1に示す。酸性雨の影響を顕著に受ける南面と受けない北面との差は明確でないが、これは圧縮強度の測定が20mの深さ方向全体のコンクリート強度の測定値であるのに対して、後述のように酸性雨の影響の到達深さは中性化深さでみて、概ね数cm以下であるためコンクリート強度に影響を及ぼすまでには至っていないと考えられる。平成4、5年度に実施した圧縮強度等の平均値を表3に示す。5年度調査の平均値と比較すると南面264 > 北面253 (kgf/cm²)であり南面の強度が大きい。4年度に実施した結果は、南面306.6 > 北面275.8 (kgf/cm²)であり、5年度の結果と同様の傾向であった。これらの強度はコンクリート建造物の強度として十分に実使用に耐える強度を保持してい

表3 全対象建造物の圧縮強度その他の平均値 (平成4、5年度)

項目	圧縮強度(kgf/cm ²)		中性化(表面)		pH(表面)		pH(深部)	
	南面	北面	南面	北面	南面	北面	南面	北面
4年度	306.6	275.8	7.05	9.51	12.7	12.0	12.8	13.1
5年度	264	253	4.08	4.31	12.2	12.5	12.3	12.6

た。

(2) 中性化

4年度はモルタル被りのない建造物として相生橋が唯一であったが、5年度は2例あった。これらモルタル被りのない青梅、及び小平合同庁舎の中性化深さが他と比較して大きい傾向を示し、コンクリート単独の影響を反映している例として注目される。pHの測定結果を図2に示す。モルタル被りのある他の8例は前者と比較して中性化深さは小さく、モルタル被覆の効果と考えられる。全対象建造物の平均値で4、5年度を比較すると表3となる。表3から両年度とも北面 > 南面であり、北面の中性化深さが南面よりも大きかった。この理由は酸性雨の影響よりもコンクリートの緻密さの影響が大きい

ことを示している。すなわち、上述の(1)圧縮強度で触れたように南面の強度が平均値でみると北面よりも大きく、それだけ南面のコンクリートの緻密性が北面より大きいことを示している。

(3) pH

図3にpHの測定結果を示す。小平合同庁舎の南面、七生福祉園の南面表面及び深部、北多摩南部建設事務所田無・保谷工区の南面深部の4試料についてはpHが12以下であった。しかし、その他の試料についてはpHはすべて12以上であり、十分なアルカリ性を保持していた。また、試料のpHは多くの場合表面 < 深部、また、南面 < 北面であった。この典型的な例はコンクリート打放しでモルタル被りのない小平合同庁舎であり、南面、北面とも表面 < 深部、また、南面 < 北面であった。この傾向は西高校を除いた昨年の結果と同様であり、pH測定値が酸性雨のコンクリートへの影響を検討するのに中性化よりもむしろ有効な測定項目であると考えられる。

(4) 電子顕微鏡写真

モルタル被りがなく、酸性雨の影響を受け易い、また中性化深さの大きい小平の南面表面のSEM(走査型電子顕微鏡)写真を写真1に、また比較のために小平合同庁舎南面深部のSEM写真を写真2に示す。写真1の中央部にエトリンガイト(C₃A(3CaO·3Al₂O₃)·3CaSO₄·32H₂O)の大きい結晶が観察されるが、これは酸性雨等によって表面に供給された硫酸イオンがカルシウムと反応し、石膏を生成し、さらにコンクリート中のCSH(カルシウムシリケート水和物：代表的な組成はCaO·2SiO₂·3H₂O)ゲルと反応して生成したと推測される。写真2から深部では全くエトリンガイトの生成は認められず、CSHの結晶で全て埋め尽くされていた。同じくモルタル被りのない青梅の南面表面、深部のSEM写真を写真3、4に示す。青梅合同庁舎の場合は(1)圧縮強度、(2)中性化で記したようにコンクリートの緻密性が高く中性化深さも小平合同庁舎よりも小さかったが、その結果を反映して写真3に示すように、酸性雨の影響を受け易い南面表面でも、エトリンガイトの生成は僅かであった。写真4の深部では劣化はほとんど認められず、典型的なコンクリート鉱物組成を示していた。他の場合は例外が多いが、SEM写真によっても硫酸イオンのコンクリート中への濃縮を認めることができる。

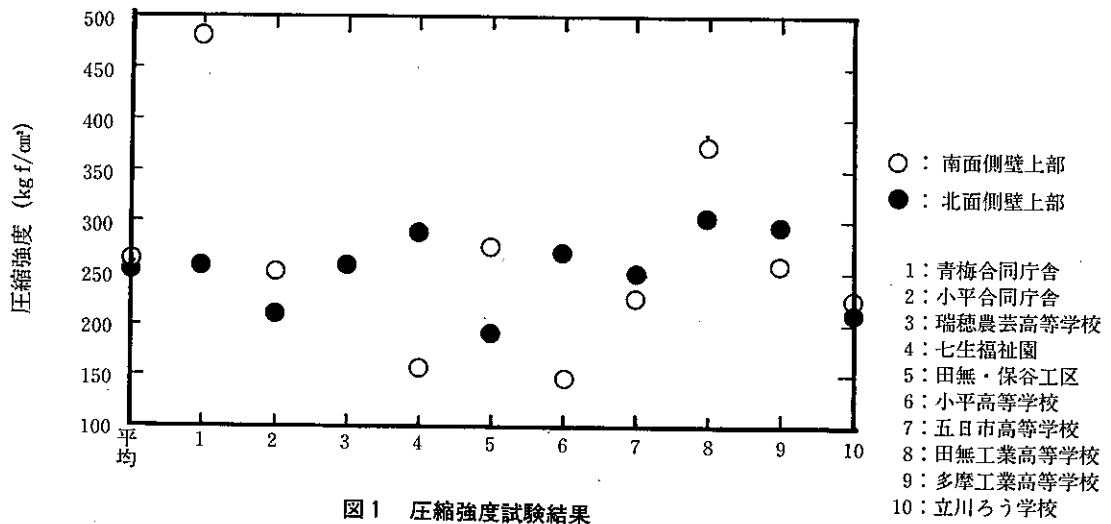


図1 圧縮強度試験結果

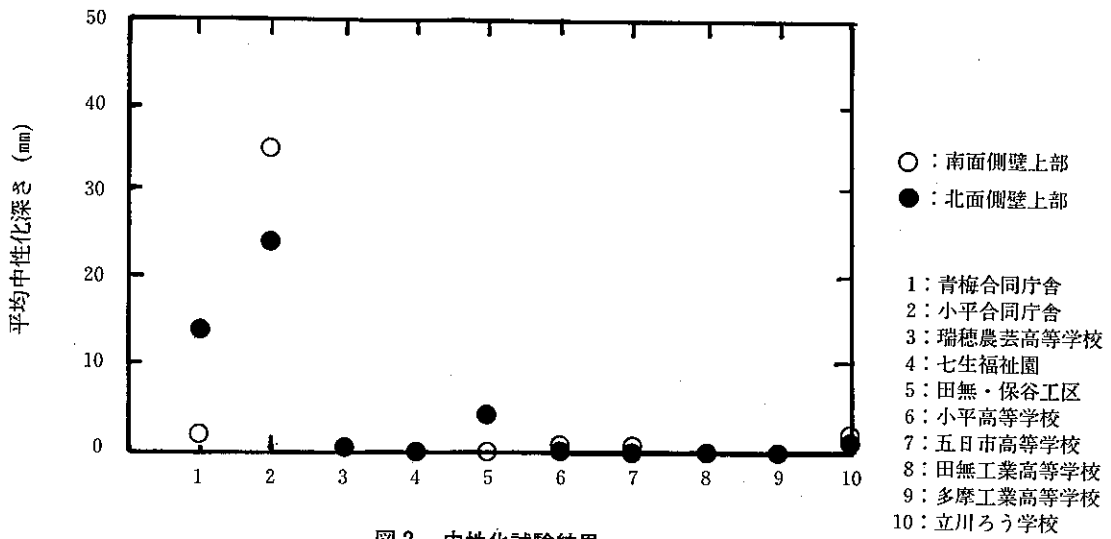


図2 中性化試験結果

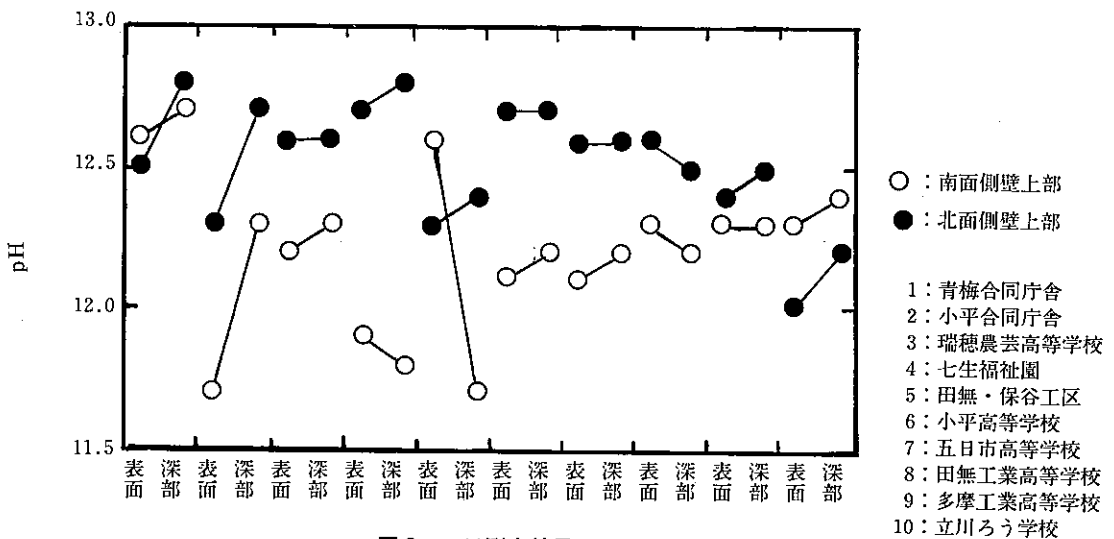


図3 pH測定結果

これら硫酸イオンのコンクリート内部への移行、集積の挙動を報告している例もあり²⁾、今後適切なフィールドサンプルが得られれば、SEM写真の解析により、さらにコンクリートの酸性雨被害に対する有益な情報が得られるものと考えられる。

(5) X線マイクロアナライザー

南面、北面の表面について、表面から内部方向への深さ方向にX線マイクロアナライザー (EPMA) 写真による分析を行った。全対象構造物で特徴的な濃度分布を示した化学成分はSO₃であり、多くの地点で表面から内部方向に移行し、集積バンドを形成し、数mm～数cm深さの位置に確認された。コンクリート打放しの小平合同庁舎の南面、北面表面のEPMA写真を写真5、6に示す。南面の写真5からバンドの歪みはあるが酸性雨の影響の可能性を示すSO₃の高濃度のバンドが観察された。北面の写真6ではSO₃のバンドが表面付近に強くみられるが、写真5よりはるかに浅い位置であった。このバンドの表面からの距離と中性化の深さとは良い対応を示した。この結果からEPMAの分析結果は、コンクリートの劣化の指標である中性化を良く表すとともに、この中性化が単に大気中のCO₂のコンクリート中への拡散だけによってもたらされるのではなく、溶液状態における物質の移動として捉えられる可能性を示したといえる。さらに、最近のセメント協会の人工酸性雨暴露実験でもこの現象はまだ確認されておらず³⁾、本調査で4、5年度とも概ね同様の結果が得られたことは、今後のコンクリートへの酸性雨影響指標として有効に使用できる可能性を初めて示したといえる。

4 まとめ

平成5年度の結果は概略平成4年度の結果と同様の結果であったが2か年の結果を総合すると以下のとおりである。

①5年度にコンクリート打放しの建造物2棟 (青梅、小平合同庁舎) を調査し、他のモルタル被りのコンクリート建造物と比較した。その結果コンクリート打放し建造物の中性化深さが他より大きい傾向を明確に示し、コンクリート建造物への酸性雨の影響調査により適していることが確認された。

②pHは酸性雨によるコンクリートの劣化を最も良く示す指標の一つとして用いることが可能であった。

③SEM写真ではコンクリート成分とSO₄²⁻との反応生成物であるエトリングサイトの存在量をコンクリート深部の酸性雨の影響を受けていない部分と比較することが酸性雨の影響を評価するのに有効であった。

④EPMA写真では酸性雨の影響を受ける南面表面と受けない北面表面のSO₃の分布の比較が酸性雨の影響を評価するのに有効であった。

参考文献

- 1) 古明地哲人ら：コンクリート建造物への酸性雨影響調査(I)－コンクリート物性調査結果、東京都環境科学研究所年報1993、p.261-265(1993)。
- 2) 小林一輔ら：炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物、硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮、コンクリート工学論文集、1、p.69-81(1990)。
- 3) 耐久性専門委員会報告：コンクリートに及ぼす酸性雨の影響(模擬酸性雨による促進試験)、日本セメント協会(1992)。

SEM写真
小平合同庁舎
南面側壁上部 表面 0 ~ 5 cm

2 : CSH(Type II)
8 : エトリンガイト

×5000
1 μm

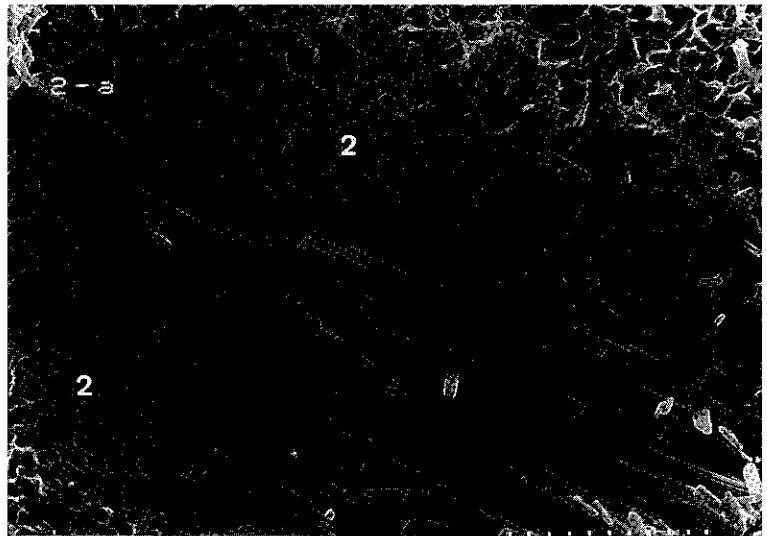


写真 1

SEM写真
小平合同庁舎
南面側壁上部 深部 5 ~ 10 cm

2 : CSH(Type II)

×5000
1 μm

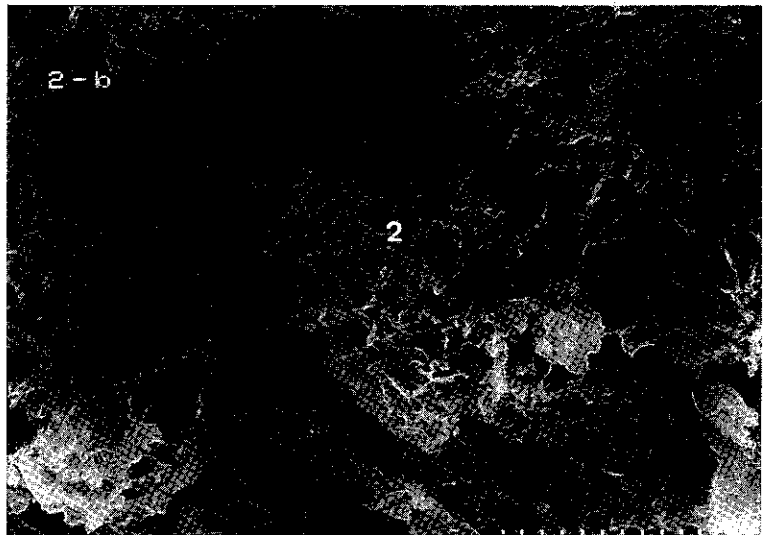


写真 2

SEM写真
青梅合同庁舎
南面側壁上部 表面 0 ~ 5 cm

2 : CSH(Type I)
8 : エトリンガイト

×5000
1 μm

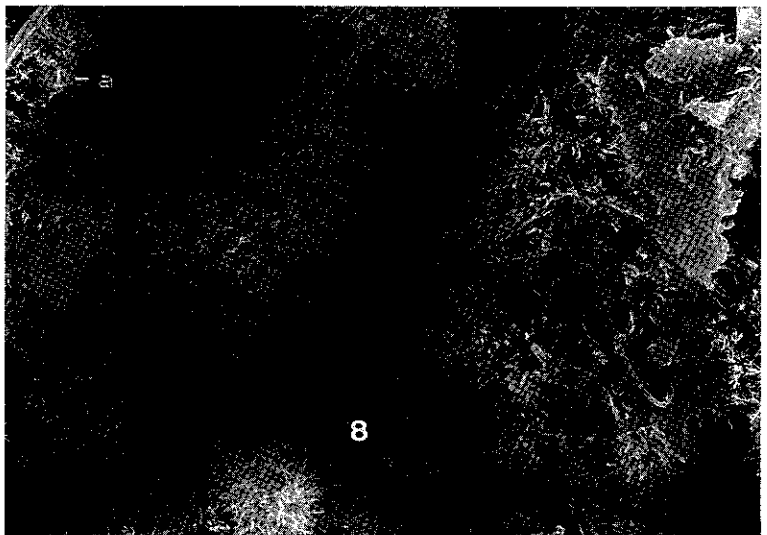


写真 3

SEM写真
青梅合同庁舎
南面側壁上部 深部 5 ~ 10 cm

1 : CSH (Type II)
6 : 水酸化カルシウム

× 5000
1 μm

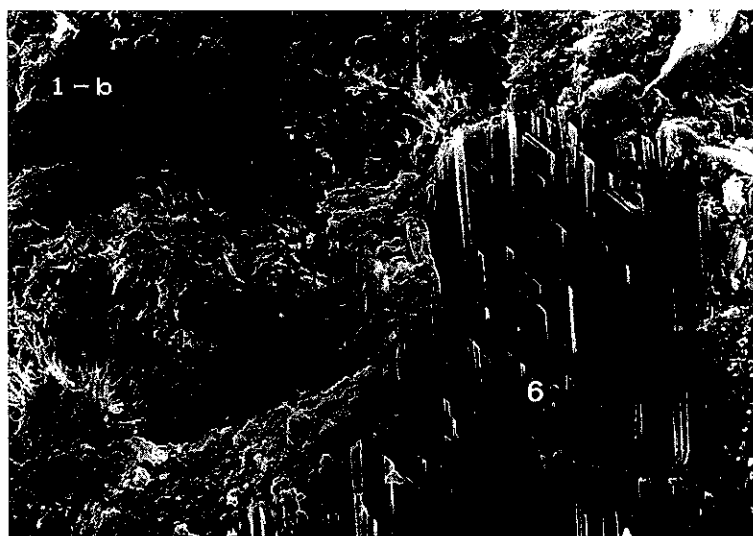


写真 4

小平合同庁舎
南面側壁上部(表面)
のEPMA写真 (5 × 5 cm)
SO₃の濃度分布

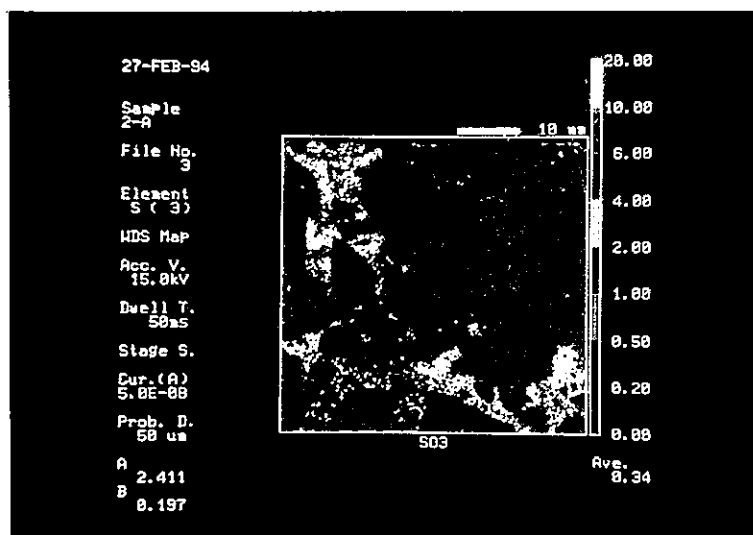


写真 5

小平合同庁舎
北面側壁上部(表面)
のEPMA写真 (5 × 5 cm)
SO₃の濃度分布

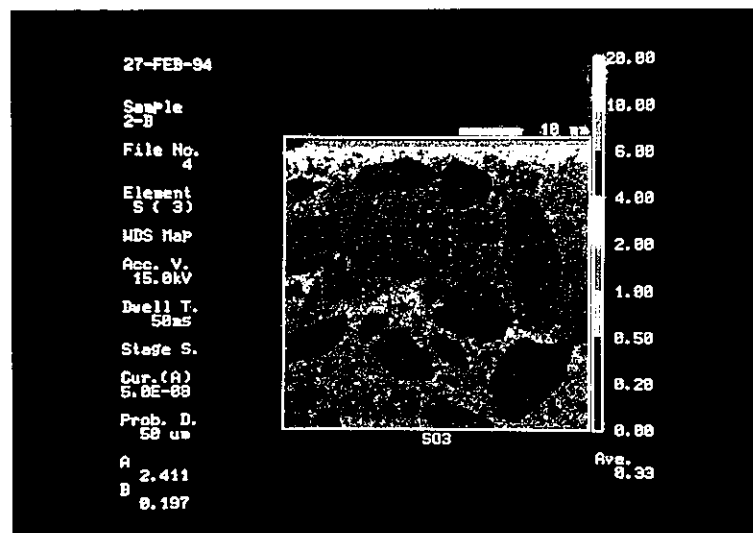


写真 6