

II-57

直接ろ過におけるろ材の表面性状と懸濁粒子の捕捉

北見工業大学 正 員 海老江 邦 雄
北見工業大学 学生員 安 出 卓 司
北見工業大学 学生員 渋谷 真 祐

1. ま え が き

ろ過初期における懸濁粒子は、当初、珪砂表面で直接に捕捉される。その後は、いまだに珪砂表面部が露出しているにも関わらず、既に捕捉されたこれらの粒子が核となってその周辺にフロック形成を起こす形で後続の粒子の抑留が進行する。すなわち懸濁粒子の大部分は、珪砂表面に直接ではなく、少数の核粒子表面においてフロッキュレーションにより捕捉されるのである。こうした形で抑留が進行するのは、珪砂表面における懸濁粒子の捕捉能力が一様でないためであり、特に核粒子が付着する珪砂表面部は、化学的もしくは物理的特性が異なっているのではないかと推測される。

本論では、珪砂表面の化学的ないし物理的特性がろ過初期の懸濁粒子抑留に及ぼす効果の評価を目的として、(1) 珪砂表面の元素分析とそれらの分布状態の測定、(2) 珪砂表面の化学的特性の変化（金コーティングの有無）とろ過による濁度除去率、(3) 走査電子顕微鏡による珪砂表面とその懸濁粒子捕捉部の観察などを行ったが、それらの結果について報告する。

2. 珪砂表面の元素分析

表1は、透明から黒までの7色に分類された実験用珪砂（使用前）と北見市広郷浄水場から採取した透明な珪砂（使用前・後）を対象に、ナトリウムより重い元素について、走査電子顕微鏡に組み込まれたエネルギー分散型X線分析装置（JEOL JED-2001）による定量分析（重量%）の結果を示している。

同表の全体的傾向として、これらの珪砂には、色に関係なく、主成分としてケイ素（100.00～52.94%）が、その他にアルミニウム、カリウム、鉄、カルシウムなどの元素が比較的多く含まれている。

個々の色の珪砂について見ると、透明な珪砂ではケイ素のみが検出された（実際には酸化物として存在するので、この場合には二酸化ケイ素の純物質ということになる）が、半透明の珪砂ではその他に微量のアルミニウムなどが含まれていた。白と黄色の珪砂ではアルミニウムとカリウムが、橙色の珪砂では黄色のものに比べてアルミニウムは少ないが、鉄が多かった。茶と黒色の珪砂には鉄が多く含まれ、さらに黒色の珪砂にはマグネシウムが多い点

が特徴的であった。

つぎに、凝集剤として使用され、懸濁粒子の捕捉を促進させると考えられるアルミニウムと鉄の含有率の傾向を実験用珪砂の色との関係において見ると、アルミニウムは透明な珪砂を除く全てに含まれていたが、その含有率は黄色の珪砂で最も高く、白、茶、黒、橙、

表1 珪砂の元素割合（重量%）

元 素	実 験 用 珪 砂							浄水場珪砂	
	透 明	半透明	白	黄	橙	茶	黒	使用前	使用後
Na		0.30	1.30	4.61	1.74				
Mg							6.75		
Al		4.43	13.49	19.10	7.15	11.40	9.58		22.24
Si	100.00	93.14	74.36	59.80	84.64	73.00	52.94	99.25	71.25
K		1.98	8.20	15.73	0.54	3.12	3.70		3.70
Ca			2.60	0.68	0.42	0.37	8.36		0.71
Ti							0.65		
Mn							0.47		1.11
Fe		0.15	0.05	0.08	5.51	12.11	17.55	0.75	0.99

*1: JEOL JED-2001 AUTOZAP vers.3.12

加速電圧20kV 有効時間100秒 デッドタイム20%

*2: 表中の数字は重量%を表す

Influence of Filter Media Surface on Removal of Suspended Particles in Direct Filtration
by Kunio Ebie, Takuji Yasude and Shinsuke Shibuya

半透明の順となった。また、鉄は透明な珪砂を除く全てにおいて検出されたが、半透明、白、黄色の珪砂においては微量であり、黒色の珪砂で最も多く、ついで茶、橙色の順であった。さらに、特徴的な点は透明な珪砂はケイ素のみから成っているのに対し、黒色の珪砂は各種の元素を含んでいることであった。

北見市広郷浄水場の使用前の珪砂（透明）においてはケイ素以外に極微量の鉄が、また使用後の珪砂においてはケイ素以外に5種類の元素が検出された。特にアルミニウム含有率が高くなっている点が注目される。これは凝集剤として使用されたPACの一部が蓄積した結果と考えられる。

3. 珪砂表面の元素分布

懸濁粒子の捕捉に影響すると考えられる珪砂表面のアルミニウムと鉄の分布状態をエネルギー分散型X線分析装置を用いて観察・測定した。測定の対象は、元素分析の場合と同様に、表1に掲げた実験用珪砂（7色）および浄水場珪砂（使用前・後）であった。その結果、鉄の偏在については、実験用の橙、茶、黒色珪砂で観察されたが、アルミニウムについては鉄ほど明確でなかった。

写真1～4は実験用珪砂（茶色）のSEM像とケイ素、アルミニウム、鉄の分布を示すX線像の組写真である。写真1の珪砂の急斜面における元素分布が写真2～4で薄くなっているのは、こうした面におけるX線の分析感度が原理的に低下するためである。したがって写真3と4のアルミニウムと鉄の分布状態については写真2のケイ素と比較して判断することが必要となる。写真3のアルミニウム分布については、珪砂上部と右端中央部で僅かに濃度が高く、また写真4の鉄の分布についてはいくつかの部分で欠如している様子が観察される。

しかしながら、これらを総合的に判断すると珪砂表面の各元素はほぼ均一に分布していると考えられ、

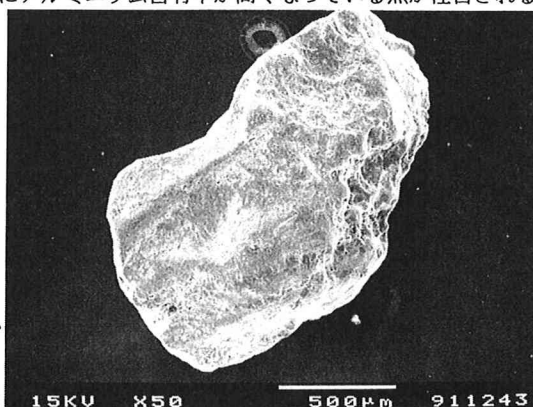


写真1 SEM像

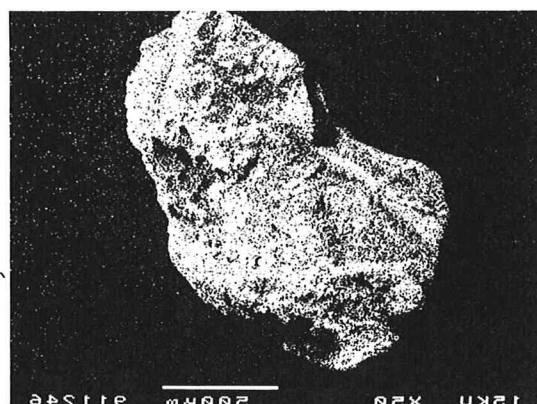


写真2 X線像（ケイ素）

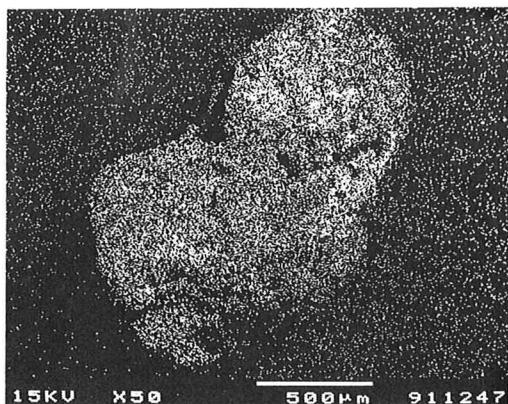


写真3 X線像（アルミニウム）

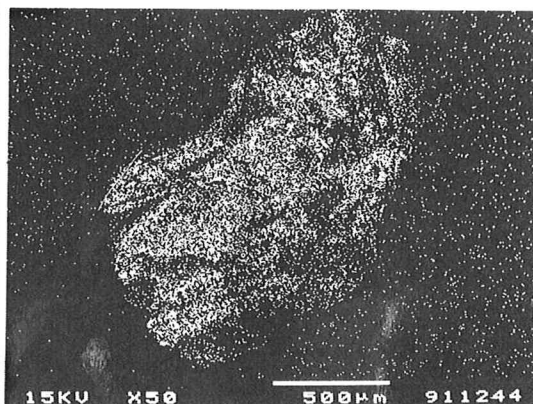


写真4 X線像（鉄）

ろ過初期における懸濁粒子の点型抑留を発生させるほど各元素の偏在ないし濃度の高低はないと考えられる。

4. 珪砂表面の化学的変化の特性(金コーティングの有無)とろ過による濁度除去

珪砂表面の化学的変化の効果を評価するために、図1の実験装置を用いて、金コーティングした珪砂(厚さ200Åで4回)としなかった珪砂による実験を行った。図中のろ過筒内(幅30mm,奥行き8mm)にそれぞれの珪砂を60mm厚さ(空隙率44.3%)に充填した。ろ過原水としては本学水道水にカオリン20mg/lとPAC5mg/lを注入して急速混和とpH調整を行った後のものを用い、これをろ速240m/dで4時間ろ過を行った。

図2はpHに伴う1時間後と4時間後の平均濁度流出率を示している。これらでは、金コーティングした珪砂の濁度流出率が僅か1.84~5.23%低下しているに過ぎない。また、各pHにおいてPAC注入率を5, 10, 15, 20mg/lの4段階に変動させて行った同様の実験においても、同じ傾向が得られた。これらのことから、珪砂表面の化学的変化の特性がろ過初期の懸濁粒子捕捉に及ぼす影響は小さいものと判断される。

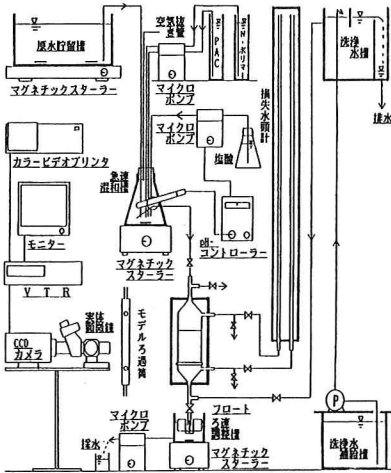


図1 ろ過実験装置の概要

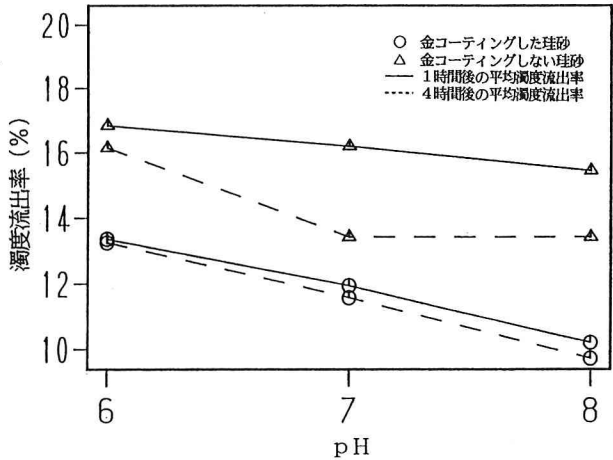


図2 濁度除去に及ぼす金コーティングの影響

5. 走査電子顕微鏡による珪砂表面性状の観察

懸濁粒子の捕捉に影響する物理的効果の把握を目的として、走査電子顕微鏡を用いて珪砂表面を観察した。殆どどの珪砂はエッジ部とそのエッジで区分される面からなる多面体と見なせる。エッジ部については、その規模や周辺の粗さの様相は極めて多種多様であり、懸濁粒子を含んだ水流が通過する際に水流の乱れによる懸濁粒子の付着を引き起こすことが考えられる。

また、面は平滑部と凹凸部に大別することができる。平滑部とは、低倍率ではガラス表面のように滑らかであるが数千倍の高倍率では数ミクロン程度の規則的な縞状ないし鱗状の起伏が観察された部分である。さらに凹凸部とは、様々な規模の亀裂、窪み、段差、起伏などが単独または複合して密に存在している部分のことである。

写真5は比較的規模の小さな縞状の凹凸部である。このように、珪砂表面にはいずれの部分にもカオリン規模の粒子であれば物理的に捕捉しうる凹凸が存在することを確認した。

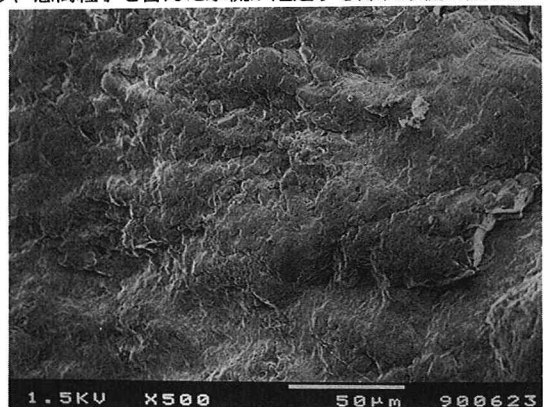


写真5 珪砂表面の凹凸部

6. 走査電子顕微鏡による懸濁粒子捕捉部位の観察

直径約 0.5mmのピアノ線上に約30秒間超音波洗浄した実験用珪砂（直径 0.84~1.00mm）を、図1のろ過筒内に装着してろ過を行った。本学水道水にカオリン 20mg/lとPAC 5mg/lを注入して急速混和の後、ろ速 120m/dで4分間ろ過した。ろ過後、ピアノ線上の珪砂を取り出してデシケーター内で 24時間乾燥させ、1.5~3.0 kVの低加速電圧で走査電子顕微鏡による観察を行った。

その結果、懸濁粒子の捕捉状況としては、いずれの場合にもエッジ部の周辺や凹凸部で多数確認された。特に、珪砂表面にある数百ミクロン規模の大きな窪みや谷状の凹部では懸濁粒子が沈降・堆積する形で、また数十ミクロン規模の縞状の起伏や突起などが存在する凹凸部では、それらに噛み合う状態で捕捉されていた。このような傾向を示す例として写真6と7を掲げる。

写真6では、上部の幅約 100 μm の谷状の凹部に懸濁粒子が沈降・堆積する形で捕捉されている。写真7は、写真5と同一の視野である。写真7では比較的規模の小さな凹凸が密に存在する部分で懸濁粒子が捕捉されている様子が見られる。これに対し、平滑部では懸濁粒子の捕捉は少なく、微細な粒子のみが窪みなどに捕捉されるにとどまっている。

7. あ と が き

本論で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 実験用珪砂は、主成分であるケイ素以外にアルミニウム、カリウム、鉄などを含んでいた。特に白と黄色の珪砂はアルミニウムとカリウムを、黒色の珪砂は鉄を多く含んでいた。
- (2) 北見市広郷浄水場から採取した使用後の珪砂では、凝集剤に由来すると考えられるアルミニウムの蓄積（約20%）が認められた。
- (3) 珪砂表面の元素はほぼ均一に分布していると判断され、元素の偏在や濃度差がろ過初期における点型抑留の発生に与える影響は小さいと考えた。
- (4) 走査電子顕微鏡を用いた珪砂表面の懸濁粒子捕捉部の観察では、多くの懸濁粒子は数百ミクロン規模の凹部に沈降・堆積する形で、また数十ミクロン規模の凹凸部には噛み合う形で捕捉される状態が認められた。他方、平滑部での懸濁粒子の捕捉は少なかった。
- (5) ろ過初期における珪砂表面の懸濁粒子の捕捉は、現在のところ、化学的というよりも物理的特性が卓越するものと考えられる。

【 文 献 】

- 1)海老江 邦 雄：ろ材の表面性状と急速ろ過初期における懸濁粒子の除去特性，土木学会北海道支部論文報告集第47号，1991.2.
- 2)海老江 邦 雄：急速ろ過層における抑留物質の挙動（Ⅲ），水道協会雑誌，No.507，1976.12.
- 3)T.R.Camp：Theory of Water Filtration，Jour. of Sa.Eng.Div.ASCE，Vol.90，No.SA4，Aug.1964

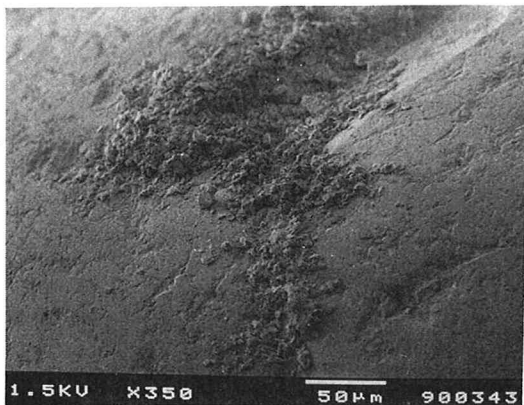


写真6 珪砂表面の懸濁粒子捕捉部

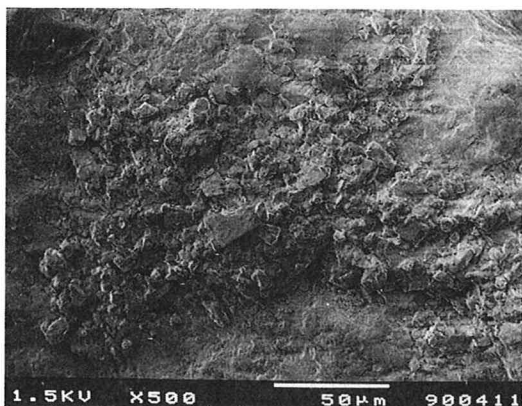


写真7 珪砂表面の懸濁粒子捕捉部