

### 3-2-3 下水道管内に発生する侵入石の実態調査と基礎分析

東京都下水道サービス株式会社 管路部 管路第三課 森 勇人  
 東京都立大学 都市環境学部 都市基盤環境学科 准教授 上野 敦  
 東京都立大学 都市環境学部 都市基盤環境学科 准教授 荒井 康裕

#### 1. はじめに

東京 23 区の荒川以東に位置する足立区、葛飾区、江戸川区（以下、東部 3 区という）では、下水道管（以下、管きよという）の継目等から侵入する地下水とともに発生・成長する鍾乳石のような固形物（以下、侵入石という）が多数発生している（図 1）。この侵入石は成長して管きよ断面を減少させ、最終的には管きよの閉塞を引き起こす恐れがある。侵入石が小さい時期には高圧洗浄作業により除去することが可能であるが、成長して大きく硬くなった侵入石は高圧洗浄作業により除去することが困難となり、その際は開削工事で管きよを取替えることになる。そのため、侵入石が小さい時点で除去、もしくは侵入石を発生させないようにすることが重要である。一方、荒川以西においては侵入石の発生は稀で、大田区、品川区、並びに杉並区の大深度幹線でわずかに確認されたのみである（図 2）。



図 1 侵入石



図 2 侵入石によるつまり発生箇所

本稿は、侵入石の発生メカニズムの解明を目的に、東京都立大学との共同研究の成果を報告するものである。

#### 2. 侵入石に関する調査・分析およびその結果

##### 2.1 侵入石の成分分析

東部 3 区の管路内調査等で採取された侵入石 8 試料について、蛍光 X 線による元素分析および X 線回折による化合物分析を行った。

分析結果を表 1 に示す。侵入石については、外観上白色のものと茶色のものであり、各々の主成分はカルシウム分および鉄分であることが判明した。また、茶色の侵入石について電子顕微鏡およびエネルギー分散型 X 線分析による詳細分析を実施した結果、鉄分以外に C, O, P の元素が多く、電子像が

表 1 侵入石分析結果

項目	試料 1	試料 2	試料 3	試料 4	試料 5	試料 6	試料 7	試料 8
重量%								
炭素(C)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
酸素(O)	1.0	1.2	1.0	0.2	0.8	0.4	0.2	0.5
アルミニウム(Al)	1.0	1.0	1.0	0.2	0.8	0.2	0.1	0.2
シリコン(Si)	4.1	4.0	3.3	0.4	0.3	10.2	12.0	2.2
鉄(Fe)	0.0	1.0	11.2	0.0	11.2	4.0	0.0	0.0
銅(Cu)	0.0	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0
カルシウム(Ca)	0.1	0.2	1.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
マグネシウム(Mg)	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ナトリウム(Na)	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
リン(P)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
合計	100	100	100	100	100	100	100	100
化合物	+CaCO <sub>3</sub> (炭酸カルシウム)	+CaCO <sub>3</sub> (炭酸カルシウム) +SiO <sub>2</sub> (二酸化ケイ素)	+SiO <sub>2</sub> (二酸化ケイ素) +NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> +Ca <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> F <sub>2</sub> (重晶石)	+SiO <sub>2</sub> (二酸化ケイ素)	+SiO <sub>2</sub> (二酸化ケイ素)	+CaCO <sub>3</sub> (炭酸カルシウム)	+CaCO <sub>3</sub> (炭酸カルシウム)	+CaCO <sub>3</sub> (炭酸カルシウム)

チューブ状を呈していることから、鉄バクテリアの一種が侵入石に関わっていることが判明した（図3、図4）。

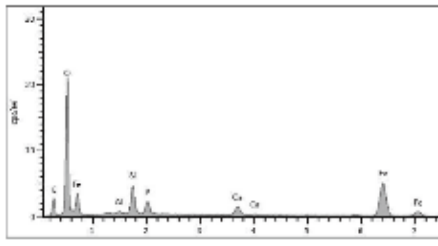


図3 エネルギー分散型X線分析結果



図4 電子顕微鏡による分析

表2 侵入水分析結果

項目	単位	値
測定試料外観		
pH	-	7.7
電気伝導率	μS/cm	89
硫酸イオン	mg/L	27
塩化物イオン		45
マグネシウム		23
カリウム		12
カルシウムイオン		76
ナトリウムイオン	73	
アンモニウムイオン	2	
		2

## 2.2 侵入石、土壌、地下水の分析

侵入石の発生・成長には、管きよの直上の土壌および地下水の影響が大きいと考えられる。そこで、東部3区の6箇所て試料採取し、X線回折による化合物分析を行った。

分析結果を図5に示す。試料No.1～5については、侵入石と土壌成分が近似しており、土壌の影響が大きいと考えられた。一方、試料No.6については、侵入石の主成分がカルシウム分であるのに対し、土壌の主成分が鉄分になっている。そこで、管きよに侵入する地下水を採取して、誘導結合プラズマ蛍光分析を行った。その結果を表2に示す。侵入水にはカルシウム分が多く含まれ、試料No.6は土壌より地下水の影響が大きいと考えられた。



図5 土壌と侵入石の関連性

## 2.3 地下水と管きよ埋設高さの調査

侵入石と地下水の関連性を確認するため、地下水位と管きよ埋設高を調査した。調査は、東京都下水道台帳システムを活用して各区の管きよの埋設平均高さを計算し、地下水位との比較により行った。

調査結果を図6に示す。着色部は、地下水位が管きよの埋設平均高さより高い地域である。図1と比較すると、一部の区で差異はあるものの、東部低地帯において侵入石が発生しており、侵入石に地下水が深く関わっていると考えられた。



図6 地下水と管きよ埋設高さ

## 2.4 侵入石の発生区域の調査

侵入石が東部3区だけで発生しているのかを確認するため、周辺市および荒川上流に位置する市の下水道担当者に侵入石の有無をヒアリング調査した。

調査結果を図7に示す。荒川と利根川に挟まれた河川地域の市において、地下水位が比較的高い場所で侵入石が発生している。この地域では、肥料や土壌改良剤として石灰が農地に散布されており、このカルシウム分が地下水に溶けて侵入石発生の一因になっていると推察された。



図7 侵入石の発生区域

## 3. 発生メカニズムの考察

以上の調査・分析結果をもとに、主成分がカルシウム分のものと鉄分のもの各々について、以下のようなメカニズムによって侵入石が発生すると考察する。

### 3.1 主成分がカルシウム分の侵入石

侵入石のカルシウム分は炭酸カルシウムとして存在しており、形状や成分から鍾乳石と同様のメカニズムで発生すると考えられる。発生・成長の過程を図8に示す。但し、侵入水に含まれるカルシウムがどこから供給されているかは、本調査では確認できなかった。

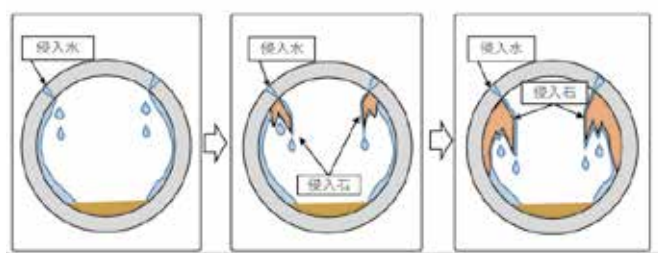


図8 カルシウム主成分侵入石の発生・成長

### 3.2 主成分が鉄分の侵入石

鉄バクテリアは管きょ内だけでなく、様々な場所に生息している。鉄バクテリアが生息するためには、鉄分が $Fe^{2+}$ にイオン化され、pHが酸性領域である必要がある。下水から硫化水素 $H_2S$ が発生した場合、硫黄酸化細菌による腐食メカニズムにより、管きょ内で硫酸 $H_2SO_4$ が発生しコンクリートが腐食する。この場合、管きょ内は酸性領域になり、鉄バクテリアが生息する $Fe^{2+}$ にイオン化される条件に適合する。一方、鉄バクテリアは $Fe^{2+}$ を $Fe^{3+}$ に酸化する時に発生するエネルギーを取り込み増殖する。増殖するためには、pHが中性付近に近づく必要がある。調査した侵入水はpH8程度の中性であり、この侵入水の供給により、鉄バクテリアの増殖条件に適合する。このような鉄バクテリアの発生・増殖メカニズムにより、主成分が鉄分の侵入石が発生すると考えられる。この現象は農業用水(図9)でも類似事例が発生しており<sup>1)</sup>、同様のメカニズムと考えられる。



図9 農業用水の鉄バクテリア<sup>1)</sup>

### 3.3 侵入石の発生メカニズム

以上の発生メカニズムを図化すると、図10のとおりである。なお、管きよ内で発生する硫酸と炭酸カルシウムは化学反応を起こすことから、カルシウム分の侵入石と鉄分の侵入石が同一箇所では発生することはないと考えられる。

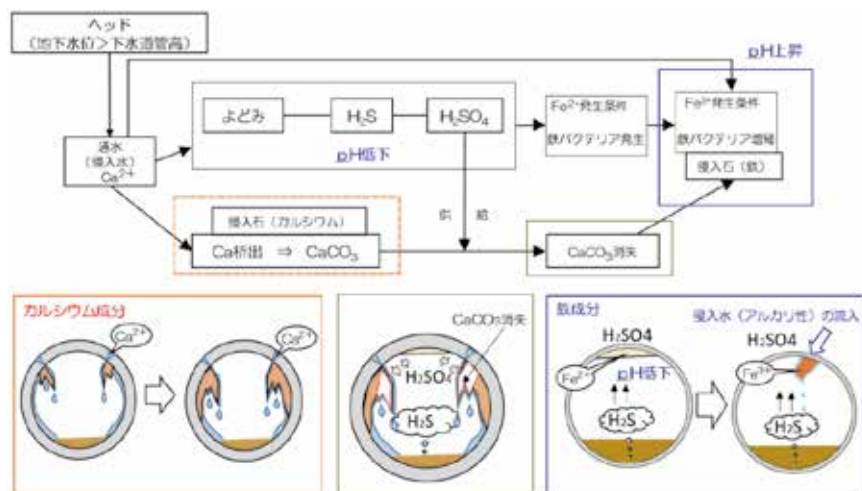


図10 侵入石の発生メカニズム

### 4. おわりに

侵入石の発生メカニズムに関する調査分析を行った。調査・分析結果に基づき、発生メカニズムを考察したが、その妥当性について検証する必要があるため、引き続き共同研究を行う予定である。また、本調査の結果等を活用して、管きよの維持管理コストの縮減対策についても検討していく所存である。

### 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局企画部資源課：水抜きボーリングの目詰まり原因とその対策