

藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の実践的研究(官学産 共同研究) その3

陥没 下水道管 模型実験

東京大学生産技術研究所 学生会員 ○大原 勇  
 同上 国際会員 桑野 玲子  
 同上 国際会員 瀬良 良子  
 藤沢市道路河川部 正会員 嶋山 瑠美子  
 ジョ・サーチ株式会社 陰山 一

1. はじめに

近年、地下の高度利用が進み地下構造物が輻輳する都市部において、下水道管をはじめとする地下インフラの老朽化や豪雨などの気候の激甚化に伴い地盤陥没のリスクが高まっており、道路の維持管理および人的被害軽減の観点から、地盤内空洞・ゆるみの生成・進展といった陥没の生成メカニズムの解明が求められている。一方で陥没発生時は早急な交通復旧という実務上の要請もあり、陥没現地の詳細な調査は殆ど蓄積がないのが現状である。

本共同研究では、発見されたいくつかの空洞について、開削による空洞の原因特定と試料のサンプリング、一部ではポータブルコーン貫入試験を行った。本稿では、現地の詳細な調査から明らかになってきた空洞の実情を整理し、サンプリング試料の土質試験と現地地盤を模擬した模型実験を踏まえた考察を行う。

2. 空洞現地調査の報告

岡村らが4地点で行った空洞調査(空洞A~D)<sup>1)</sup>のうち、空洞Aについて説明する。幅850mm、長さ1250mm、厚さ630mmの比較的大きな形状で、開削を行った結果、



図1: 空洞A(左)と流出口(右)の様子

深さ約3mに布設された下水道管において継ぎ手部分のモルタルが劣化し隙間ができていたことが空洞の原因であると判明した。図1に空洞Aと空洞の原因となった流出口の写真、図2に空洞付近の断面図、図3にポータブルコーン貫入試験の結果を示す。流出口と空洞の間に約1mに及ぶゆるみ領域が確認された。また、僅かな隙間が原因であっても大きな空洞が発生しうる点は留意すべきであろう。また、空洞補修に際してここまで深い開削を行うのは稀であり、通常は浅部の空洞補修に留まり深部の原因特定には至らない。しかし表面的に空洞を埋め戻しても、原因そのものに対処しなければ空洞が再発する可能性がある。そうした意味でこの空洞は、原因となる土砂の流出口そのものを特定することの重要性を示唆する事例と言えるだろう。

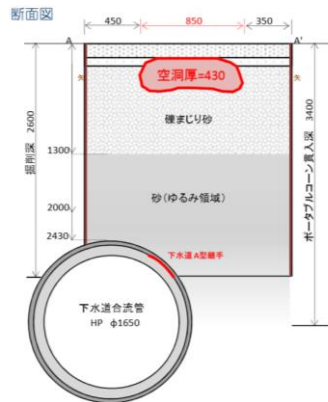


図2: 空洞A付近の断面図

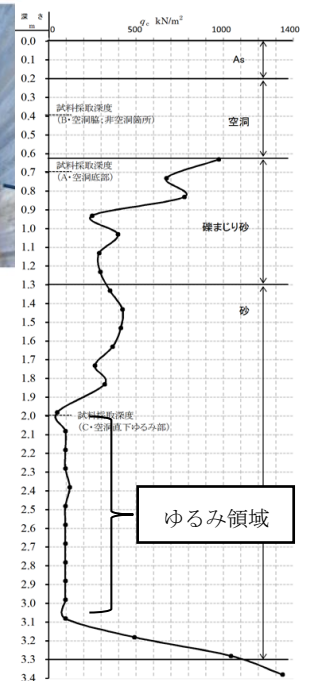


図3: 空洞Aのポータブルコーン貫入試験結果

3. 土質試験

表1および図5は、各空洞現場において「ゆるみ部(ポータブルコーン貫入試験の結果N値が相対的に低い部分)」「空洞脇」「空洞直下」の3地点の試料をカップラーによりサンプリングし、土質試験を行った結果である。含水比に着目すると、ほとんどの試料が5~10%程度であるのに対し、空洞Dの空洞脇試料のみが高い含水比を示した。また相対密度については、空洞直下のゆるみ部において全箇所相対的に低い値が確認され、おむね貫入試験の結果と整合していることが確認された。①は極めて小さ

空洞	採取箇所	含水比 (%)	土粒子密度 (g/cm³)	相対密度
A	ゆるみ部	7.5	2.72	6.3
	空洞脇	6.3	2.66	96.2
	空洞直下	9.8	2.72	109.3
B	ゆるみ部	9.5	2.75	30.2
	空洞脇	5.6	2.76	91.0
	空洞直下	6.0	2.61	61.5
C	ゆるみ部	8.2	2.70	7.1
	空洞脇	4.7	2.71	①24.2
D	空洞直下	11.6	2.71	-0.1
	ゆるみ部	12.9	2.80	94.4
	空洞脇	77.0	2.67	63.0
	空洞直下	9.1	2.67	②94.6

表1: 空洞現場試料の土質試験結果

い相対密度を示しているが、この試料の土粒子は角の取れた川砂のような形状のため乱されやすく、サンプリング時に何らかの攪乱が起きた可能性がある。また②ではゆるみ部にも関わらず相対密度が大きいが、これは貫入試験でN値が大きい部分をサンプリングしたためである。

粒度分布を見ると、どの空洞現場においても空洞直下の粒度が最も大きくなっていることが分かる。これは、空洞の天井部が舗装の路盤部分に到達し碎石が落下した結果、空洞底部の粒度が大きくなったためであると考えられる。また、Dの空洞脇試料の細粒分含有率が突出していることが分かる。この空洞Dでは、砂質の埋戻し材に顕著な空洞が見られた一方で、空洞両脇の粘土質の地山は殆ど浸食されていなかった(図5)。したがって、突出した細粒分含有率が耐浸食性に寄与したと推測される。模型実験においても細粒分が多いと空洞の成長が遅くなることが分かっており<sup>2)</sup>、実験と同様の傾向が現場においても確認された形になる。またこの試料では著しい団粒化も見られ(図6)、これも粒子同士の固着力を高めて粒子の流出を防ぎ、結果として耐浸食性を高めたと考えられる。

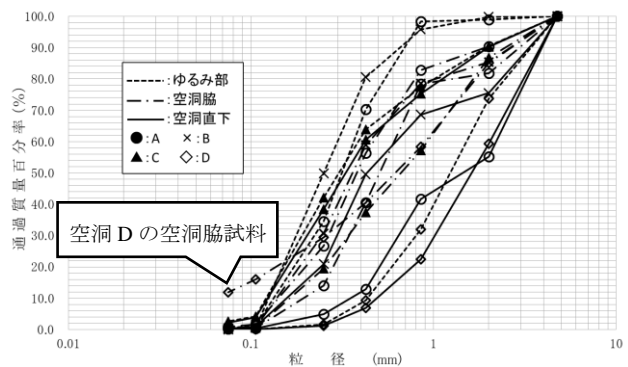


図4：空洞現場試料の粒度分布

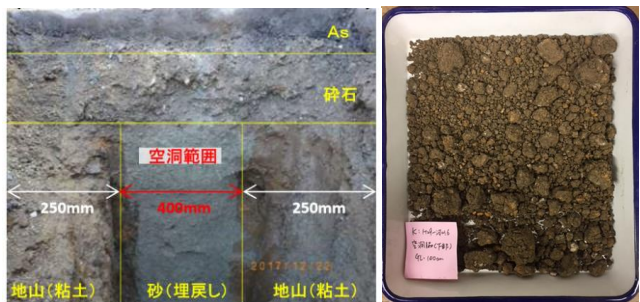


図5：空洞D付近の地盤

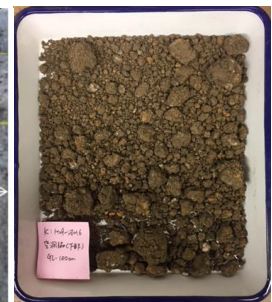


図6：空洞Dの空洞脇試料

#### 4. 藤沢市地盤を再現した模型実験

空洞Aのゆるみ部と類似した粒度分布になるように5号珪砂と7号珪砂を6:4の質量比で配合して作成された砂( $D_{50}=0.3\text{mm}$ )を用いて、空洞が生成・成長し陥没に至る過程を模擬した模型実験を行った。土槽内に作成された模型地盤に底部から給水を行い、地下水位が安定したのちに底部のスリットを開放し、その後底部からの給水と排水を繰り返した結果、図7のような空洞の成長・陥没の発生が観察された。空洞Aと同様、流出口から離れた位置に空洞の形成が確認された。一方図8に示す3号珪砂( $D_{50}=1.5\text{mm}$ )を用いた模型実験では、スリット開放直後土砂が鉛直に流出した。これを図7のケースと比較すると、図7では比較的細粒分が多く含まれており、サクションやアーチ効果によって空洞上部の地盤が支えられていたと考えられる。

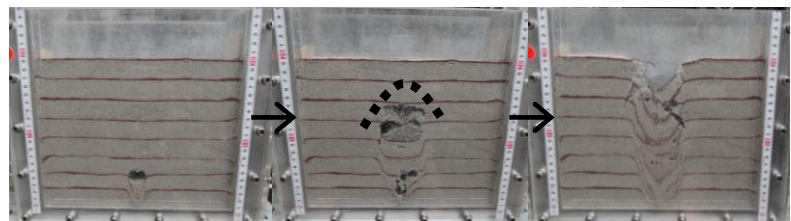


図7：5号珪砂：7号珪砂=6：4で配合した試料を用いた模型実験



図8：3号珪砂を用いた模型実験

#### 5. まとめ

空洞の現地調査から以下のことを考察した。

- ・埋設管の損傷が僅かであっても比較的大きな空洞の原因になりうる。
  - ・流出口が空洞よりもかなり深い位置にあるケースも存在している。再発を防止するためには、浅部の空洞補修に留まらず空洞の原因となる深部の流出口まで特定することが必要である。
- また、その後の土質試験と模型実験において以下のことを考察した。
- ・相対密度とポータブルコーン貫入試験の結果はおおむね整合している。
  - ・空洞直下の試料は空洞天井部の崩落により路盤の碎石を含んでおり、比較的粒度が大きい傾向にある。
  - ・空洞Dの浸食が見られなかった地山部分は細粒分含有率が突出しており、これは模型実験から得られたこれまでの知見を裏付けるものである。またこの試料では著しい団粒化も見られ、これも耐浸食性を高めていたと考えられる。
  - ・空洞Aのゆるみ部に類似した地盤材料で模型実験を行い、現地と同様に流出口と離れた位置に空洞の形成を確認した。

#### 6. 参考文献

- 1)岡村雅俊, 桑野玲子, 藤沢市における効率的な道路陥没防止手法の実践的研究(官学産 共同研究) その2, 第53回地盤工学研究発表会
- 2)桑野玲子, 堀井俊孝, 山内慶太, 小橋秀俊, 老朽下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討, 地盤工学ジャーナル, Vol 5, No. 2, 349-361