

1. 道路陥没を予防するための下水道管路の適正管理手法に関する研究

下水道研究室 室長 藤生 和也
研究官 浜田 知幸

1. はじめに

我が国では下水道普及率の上昇に伴い、管路総延長 37 万 km 以上に達しており、膨大なストックを形成している。一方、下水管路の破損部に地盤材料が流れ込むことで発生する道路陥没が発生しており、下水管路の老朽化進行とともに増加が予想される。これらの予防手段として、下水管路の定期的な調査を行い、その調査結果を判定し、維持管理で対応するか、修繕や改築を必要とするかの診断を行う必要がある。下水道維持管理指針¹⁾では視覚調査結果に関する判定基準が例記されているが、同時に改築・修繕の要否は、そのみならず管材質、敷設後の経過年数、下水の水質、地下水位の状況、地域環境等、様々な条件を勘案して決定されるべきものであると記述されており、実際、軽微な損傷でも道路陥没を引き起こすケースが多いと報告されている²⁾。道路陥没の主なメカニズムは、管路の損傷部分への地盤材料流入によるゆるみ・空洞の進行であると推察される。これらゆるみ・空洞と諸条件との関係について、小型模型を使った実験が行われ、基礎的な知見が整理されつつある³⁾⁴⁾。

本研究では、地方公共団体から道路陥没に関する情報収集を行い、道路陥没の発生原因となった管路施設の実態を整理した。さらに大型土槽を用いて、管路破損部分への地盤材料の流入状況を調べる実験を行い、実際の管路埋設状況に近い環境を再現して空洞・ゆるみの進行しやすい条件を調べた。本実験は本年度から 3 年間の予定で行い、最終的に改築・修繕の優先度の高い管路部分の選別方法を提案するものである。

2. 道路陥没実態調査

2. 1 調査概要

下水管路の破損により発生した道路陥没について、管路施設の状況や周辺環境などの現場状況を整理するため、地方公共団体にて聞き取り調査および道路陥没対応書類の閲覧調査（以下、閲覧調査）を行った。調査対象として、A 市、B 市の 2 都市を選定した。聞き取り調査では、管路施設の維持管理担当者から道路陥没数、道路陥没の発生時期、布設年度について情報収集した。閲覧調査では、A 市の行政区の一部を調査対象として選定し、対応記録・工事書類を閲覧することにより、56 件の情報を収集した。

2. 2 調査結果

2. 2. 1 布設経過年数と道路陥没数の関係

A 市における各行政区の平均管齢と道路陥没発生件数（H11～H15 の平均値）を比較した（図 1）。平均管齢 20 年未満の行政区で道路陥没件数は 0.05 件/10km/年であるのに対して、20 年以上の行政区では 0.40 件/10km/年であった。下水管路を布設して年数が経過している行政区ほど、道路陥没が発生しやすかった。

2. 2. 2 管路施設の種類

道路陥没の発生要因になった管路施設について、施設の内訳を調べた（表 1）。取付管や汚水柵などの本管以外の施設が原因になっているケースが 61%～88%を占めて

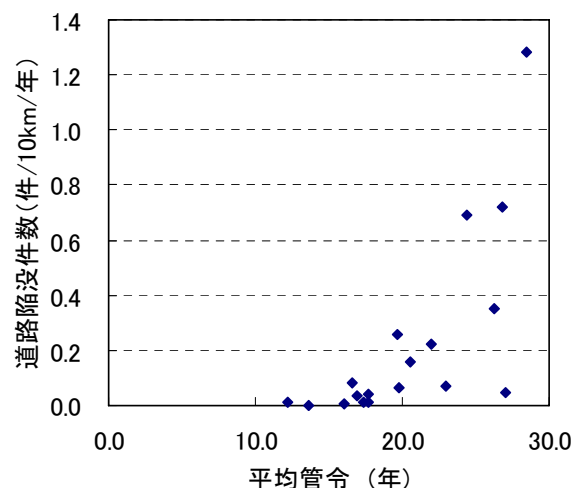


図1 A市行政区における平均管齢と道路陥没件数

おり、陥没対策のためにはこれらの施設についても調査の必要性が示唆された。また、閲覧調査では、管路施設の破損、クラック、継ぎ手ズレ以外の要因による道路陥没が14%あり、これらは未使用下水管への土砂流入によるものであることがわかった。

表1 道路陥没の発生要因施設の内訳割合

		本管	取付管	人孔	汚水樹	水路	未使用下水管	不明
聞き取り調査	A市(H14:266件)	13%	71%	9%	7%	—	—	—
	A市(H15:219件)	8%	77%	3%	9%	—	—	4%
	B市(H14:323件)	39%	41%	1%	18%	1%	—	—
	B市(H15:322件)	39%	56%	1%	2%	2%	—	—
閲覧調査	A市(H16:56件)	5%	77%	—	—	—	14%	4%

2. 2. 3 破損状況

閲覧調査において、管路施設の破損、クラック、継ぎ手ズレが原因で道路陥没に至ったことが確認された46件について、工事写真から維持管理指針¹⁾に示されている「視覚調査結果に対する判断基準例」を用いて、異常ランクの判定を行った(表2)。判定作業に当たっては、継ぎ手ズレのズレ幅を工事写真から判別できないため、ズレ幅が判断基準となるB、Cランクの判定は行わず、まとめて表記した。診断を行った結果、重度の異常判定であるAランクが50%を占めており、著しい異常のある下水管路で道路陥没が発生していることがわかった。しかし、B、Cランクも33%を占めており、小規模なクラックおよび脱却に至らない継ぎ手のズレなどでも道路陥没の原因になることが確認された。これはB、Cランクでも地盤材料が管路内に流入することにより、地盤のゆるみ・空洞が進展し、道路陥没に至ったものと考えられる。

表2 道路陥没の原因となった下水管路の視覚調査診断結果 (件)

	合計	ランク			判別不能
		A	B	C	
破損	26 (57%)	18 (39%)	4 (9%)	0	4 (9%)
継ぎ手ズレ	13 (28%)	4 (9%)	6 (13%)	3 (7%)	—
クラック	7 (15%)	1 (2%)	5 (11%)	0	1 (2%)
計	46 (100%)	23 (50%)	15 (33%)	8 (17%)	—

2. 2. 4 道路陥没と降雨の関係

B市の月道路陥没件数を図2に示す。冬季は道路陥没件数が10件/月以下になるのに対して、夏季は最大60件/月以上となった。また、A市、B市の聞き取り調査において、道路陥没は降雨後に多いことが確認でき、道路陥没の降雨による影響について関連性が示唆された。

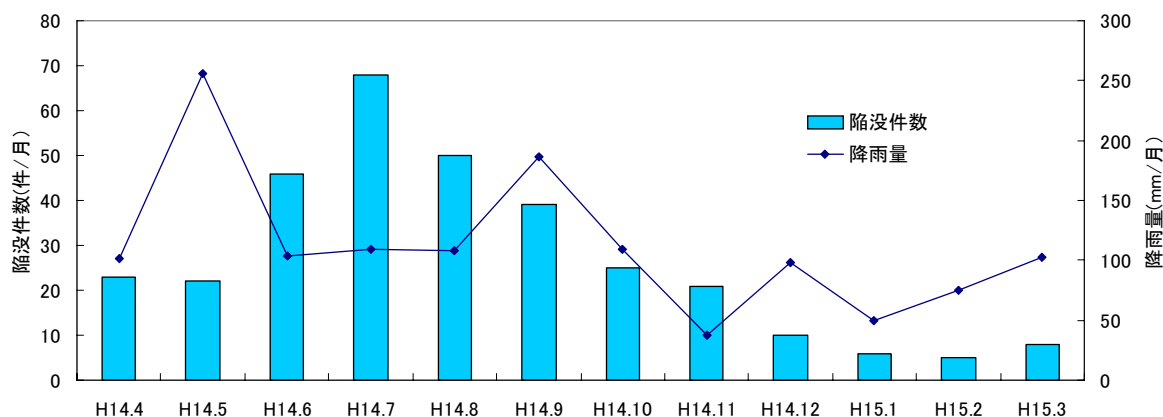


図2 月道路陥没件数(B市、平成14年度)

3. ゆるみ・空洞の進行に関する模型実験

3. 1 調査概要

「2. 道路陥没実態調査」より、下水管路のクラックや脱却していない継ぎ手ズレなどB、Cランクの異常判定であっても道路陥没の発生原因になることが分かった。

そこでB、Cランクの異常判定の下水管路を想定として、地盤材料流入によるゆるみ・空洞の進行しやすさを観測する模型実験を実施した。実験土槽に、クラックや継ぎ手ズレを想定したスリットを設けた下水管路を設置し、開口部分への流入量を調べた。これにより、下水管路の異常形状、地盤材料、地下水位などの諸条件が、ゆるみ・空洞の進展にどのような影響を及ぼすかを把握する。

3. 2 実験方法

実験土槽の寸法は高さ 100cm×幅 200cm×奥行き 50cm である (図 3)。底板の中央部に 10cm の開口部があり、その上部に半分に切った $\phi 200$ 塩ビ管を設置した。この塩ビ管 (半割管) には下水管路の異常箇所を想定して、5mm のスリットを設けた。スリットから流入した土砂は、底板の開口部から採取可能な構造となっている。また、外部水槽の高さを上下させることにより、土槽内の水位を変化させることができる。土槽内の水位を観測するため、中央部にマンメータを設置した。

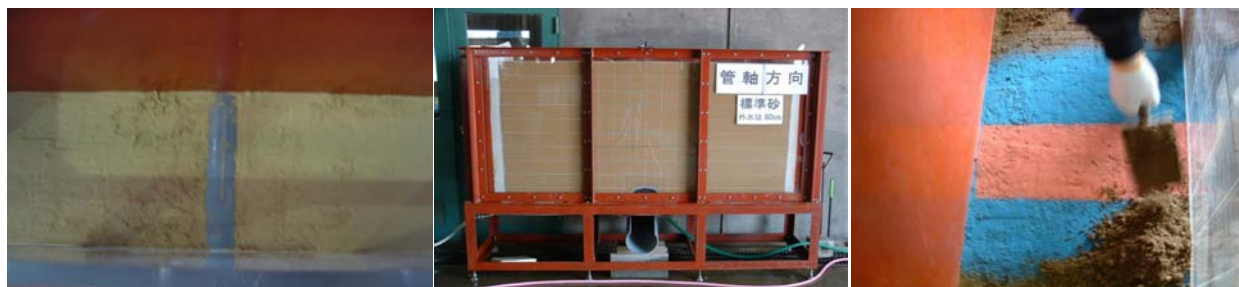
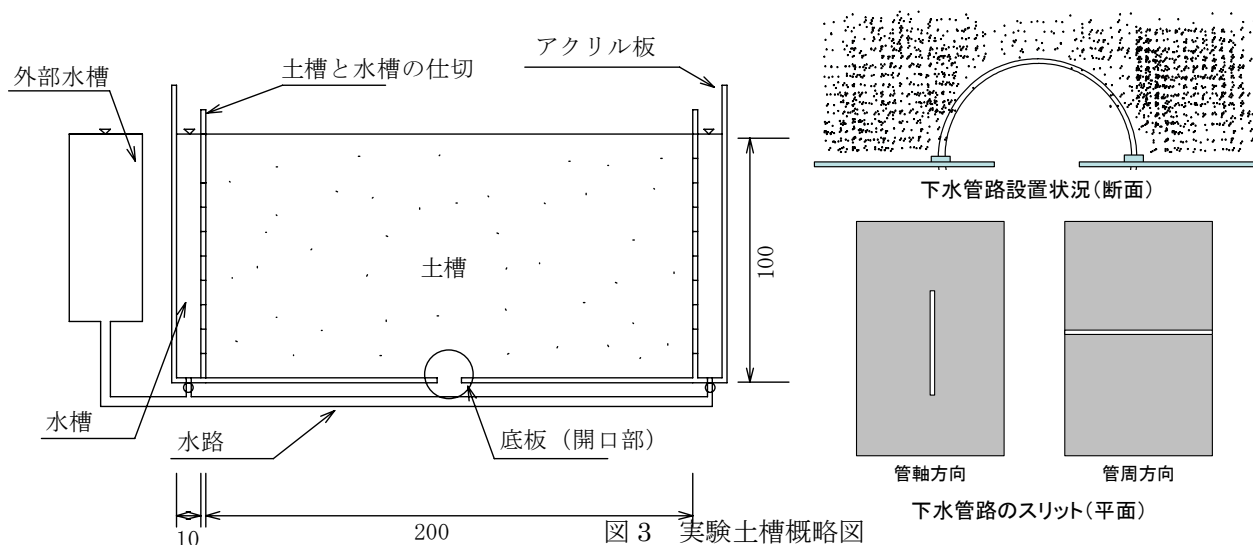


写真 1 地盤材料設置状況

写真 2 地盤設置完了

写真 3 色砂設置状況

地盤材料の設置方法は、設定含水比に調整した地盤材料を、規定の密度となるよう重量を測定しながら、一層当たり 10cm で 100cm までに盛り立てた (写真 1、2)。また、実験終了後に地盤のゆるみ・空洞領域を観測するため、層間に色砂を設置した (写真 3)。

実験は、下水管路のスリットのシーリングを取ることで開始した。実験は、下水管路のスリットからの排砂が終了、排砂量 50kg 以上もしくは地表面の陥没が観測されるまで実施した。

実験条件は caseA~H の全 8 ケースを設定した (表 4、5)。スリットの形状は管軸方向と管周方向の破損・クラックを想定した。スリットの延長は、鉛直投影長さが 20cm になるように設定した。地盤材料は豊浦砂と山砂の 2 種類を用いて、相対密度が 75% となるように設置した。埋戻しの管理基準として、品質規定をしている地方公共団体では、最大乾燥密度の 90% 以上としている⁵⁾。本実験では 90% 程度であることから、適切な施工が行われた状態を再現した実験条件であると考えられる。本実験で地盤材料に用いた山砂は、地盤材料に用いる購入土の粒径分布調査事例⁵⁾と比較して、平均的な粒径分布のものと考えられる。ただし、細

粒分含有率は 11%であり、平均よりも若干高い。豊浦砂は、均一粒径、細粒分含有率 0%であり、粒度が悪い地盤材料と想定される。地下水位は底板から 20cm（管頂より 10cm 上）、80cm（管頂より 70cm 上）の 2 ケースとした。

表4 実験条件の設定

Case	開口形状	試料	地下水位 (cm)	乾燥密度 (g/cm ³)
A	管軸方向 開口幅5mm 延長20cm	豊浦砂	20	1.551
B			80	1.544
C		山砂	20	1.447
D		山砂	80	1.447
E	管周方向 開口幅5mm 延長 31cm (管周延長)	豊浦砂	20	1.561
F			80	1.554
G		山砂	20	1.434
H		山砂	80	1.434

表5 地盤材料の物理特性

	最大密度 ρ_{max} (g/cm ³)	最小密度 ρ_{min} (g/cm ³)	最大粒径 Dmax (mm)	細粒分 含有率 (%)	均等係数 Uc
豊浦砂	1.648	1.319	0.425	0	1.59
山砂	1.556	1.177	4.75	11	2.74

3. 3 実験結果

(1) 排砂量

各実験ケースの実験開始後の経過時間と累積排砂量の関係を示す（図4）。豊浦砂では地下水位 20cm（caseA、caseE）のとき排砂量が 20kg、50kg 以上、地下水位 80cm（caseB、caseF）のとき、実験開始から 10min 程度で地表面が陥没した。それに対して山砂では地下水位 20cm（caseC、caseG）のとき排砂なし、地下水位 80cm（caseD、caseH）のとき排砂量 3～4 kg 程度で排砂が終了して安定した。地盤材料として豊浦砂を用いたとき、地下水位が高いときに排砂量が多くなった。

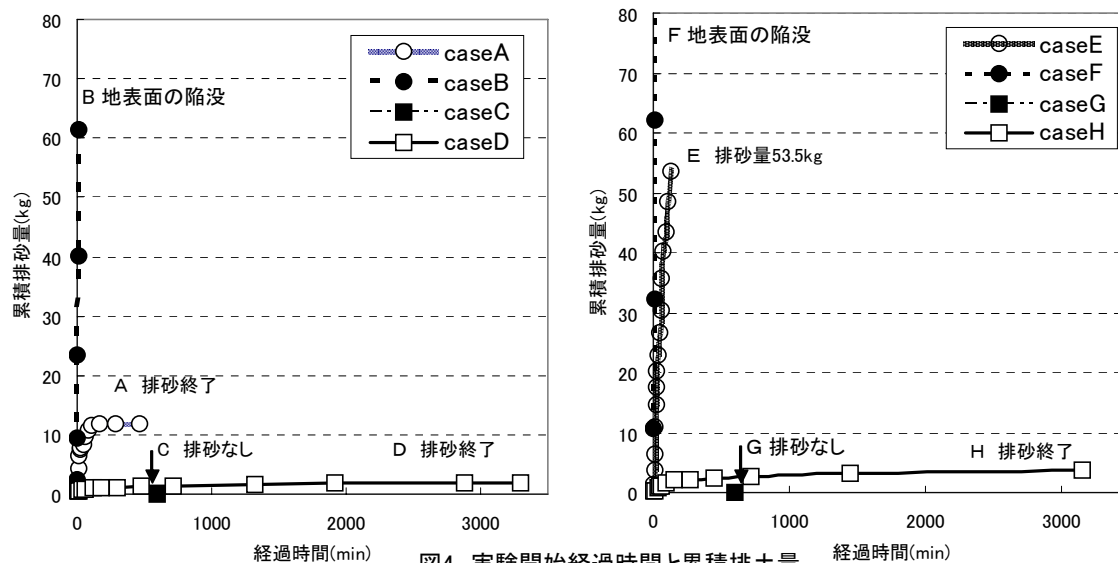


図4 実験開始経過時間と累積排土量

(2) ゆるみ・空洞領域の観測

各実験ケースのゆるみ・空洞領域を観測するため、地盤材料を 10cm 毎に平面掘削した。色砂を設置した同一平面で、色砂が観測できない状態をゆるみと定義した。地盤材料に空間がある状態を空洞と定義した。caseA 及び caseE は地盤材料に豊浦砂、地下水位を 20cm に設定したケースである。いずれも地下水位の上部 20cm 程度まで空洞が広がった（写真 4、7）。caseE は caseA と比べて空洞領域が大きかった。管周方向の最深開口部分は、管軸方向と比較して 10cm 低く、この部分に比較的大きな水圧がかかるためであろうと推察される。caseB 及び caseF は地盤材料に豊浦砂、地下水位を 80cm に設定したケースである。両ケースとも地表面付近まで空洞が広がった（caseB について写真 5）。caseD 及び caseH は地盤材料に山砂、地下水位を 80cm に設定したケースである。管頂 30～40cm 程度までのゆるみが観測された（写真 6、8）。

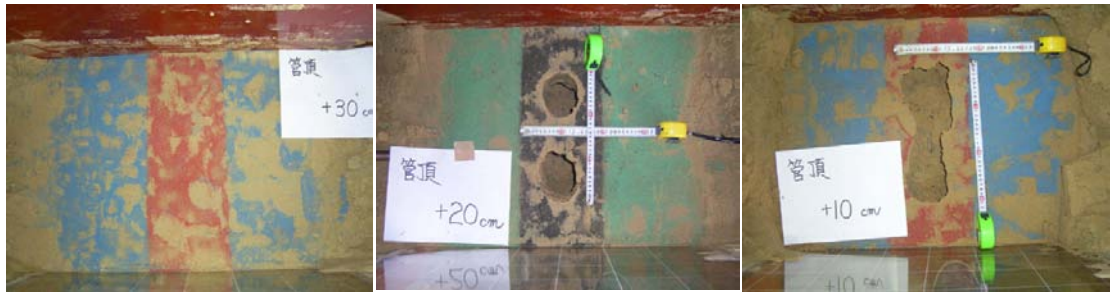


写真4 caseA (管軸方向・豊浦砂・地下水位20cm)のゆるみ・空洞進行状況

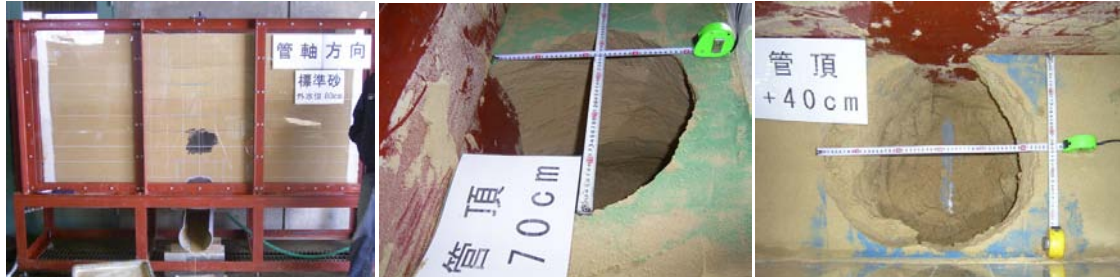


写真5 caseB (管軸方向・豊浦砂・地下水位80cm)のゆるみ・空洞進行状況

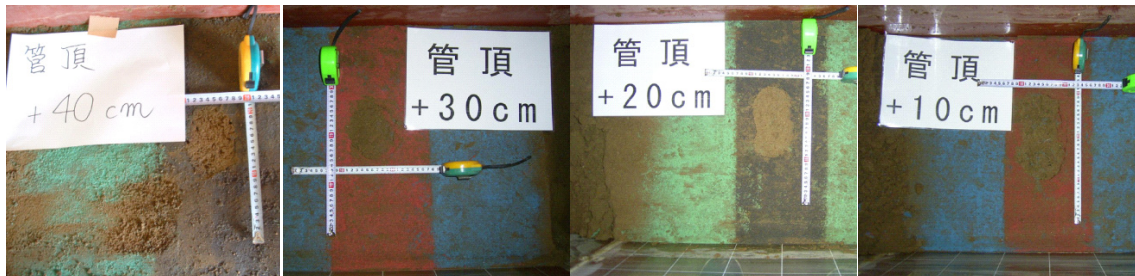


写真6 caseD (管軸方向・山砂・地下水位80cm)のゆるみ・空洞進行状況

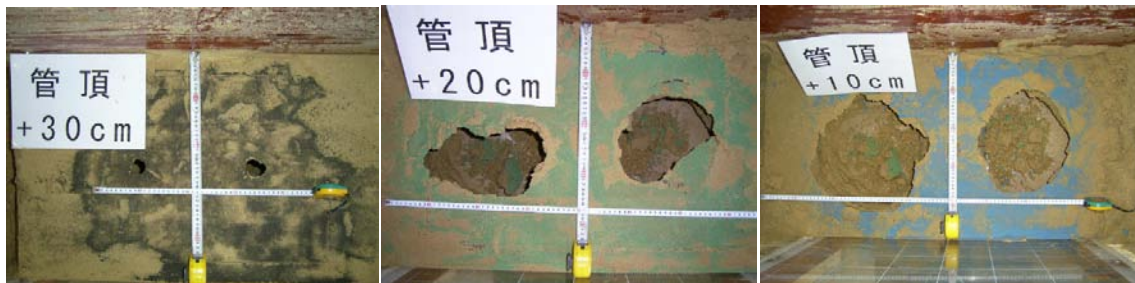


写真7 caseF (管周方向・豊浦砂・地下水位20cm)のゆるみ・空洞進行状況



写真8 caseH (管周方向・山砂・地下水位80cm)のゆるみ・空洞進行状況

(3) 排土量とゆるみ・空洞領域の関係

実験ケース毎の排砂量とゆるみ・空洞領域の体積及び重量を整理した(表6)。ゆるみ・空洞領域は撮影画像から目視読取により算定した。caseA及びcaseEの空洞が観測された実験ケースでは、空洞領域と排砂量が一致した。caseD及びcaseHの

表6 排砂量とゆるみ・空洞領域との関係

	排砂量 (kg)	ゆるみ・空洞領域		ゆるみ・ 空洞の別
		体積 ($10^{-3}m^3$)	重量 (kg)	
caseA	12.0	7.0	11.3	空洞
caseD	1.9	5.8	8.4	ゆるみ
caseE	53.5	35.3	54.8	空洞
caseH	3.6	9.4	13.5	ゆるみ

ゆるみが観測された実験ケースでは、排砂量がゆるみ領域の重量の約 1/4 であるので、実験開始前よりも密度が平均で約 25%減じたゆるみ領域が形成されていたことが推察される。

(4) 総括

小型の土槽を使った研究では、「地盤材料の粒度が悪い砂」「地下水位が高い」条件の時に、地盤のゆるみ・空洞範囲が大きい可能性が示唆されている³⁾。また、管渠破損部からの地盤への汚水流入と流出を再現した研究では、細粒分が少ない地盤材料では急速な空洞の進展がおこりやすいと報告している⁴⁾。本実験で、地盤材料に豊浦砂を用いたとき、地下水位の影響範囲で急激に排砂が進行し、空洞領域が広がった。山砂を用いたとき、地下水位 80cm のときだけ排砂が進行し、管頂 30~40cm (地下水位の下部 30~40cm) の範囲でゆるみ領域が広がった。山砂のゆるみ領域に比べて豊浦砂の空洞領域が広く、地下水位が高いときに空洞・ゆるみ範囲が大きくなったため、本研究結果から地盤材料の細粒分含有率が低く、粒度が悪く、地下水位が高いときに、ゆるみ・空洞が進行しやすいことが推察される。

標準砂のように空洞が広がっていく地盤材料では、短期間に管頂から地表面まで空洞が広がっていることが予想され、大規模な陥没の発生要因になることが懸念される。

4. まとめ

道路陥没を防止する観点から、優先的に改築・修繕を行うべき施設の選定方法を提案するため、地方公共団体での道路陥没実態調査と、管路の破損部分への土砂の流入状況を調べるゆるみ・空洞化進行に関する模型実験を行い、以下の知見を得た。

【道路陥没実態調査】

- ①陥没対策のためには、本管だけでなく取付管や柵についても調査の必要性があることが示唆された。
- ②道路陥没の原因となる管路として、重度の異常判定である A ランクだけでなく、クラックおよび脱却していない継ぎ手のズレなどの異常判定 B、C ランクでも道路陥没の原因になりうることが確認された。

【ゆるみ・空洞の進行に関する模型実験】

- ①地下水位が高いほど、ゆるみ・空洞の進展が早いことが分かった。
- ②地盤材料として山砂よりも豊浦砂を用いたとき、ゆるみ・空洞の進展が早かった。細粒分が少なく、粒度が悪い地盤材料では、急激にゆるみ・空洞が進展することが示唆された。

なお、本研究は、試験研究費により実施されたものである。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本下水道協会、下水道維持管理指針前編・2003 年版
- 2) 小橋秀俊・桑野玲子・堀井俊孝、平成 16 年度下水道関係調査研究年次報告書 国土技術政策総合研究所資料 No.263、国土交通省 国土技術政策総合研究所(2005)
- 3) 桑野玲子、山内慶太、小橋秀俊、片岡定男、老朽埋設管周辺地盤のゆるみ・空洞発生模型実験 (その 2)、第 39 回地盤工学研究発表会講演集、(2004)
- 4) 堀井俊孝、桑野玲子、小橋秀俊、片岡定男、老朽埋設管内への土砂流出による周辺地盤の空洞形成過程、第 40 回地盤工学研究発表会、(2005)
- 5) 建設省土木研究所動土質研究室、下水道管路埋戻し材料の繰返し強度特性に関する実験報告書、土木研究所資料第 3701 号(2000)