

下水管破損部からの水の流出入を模擬した小型土槽による土砂流出実験

東京大学工学部 学生会員 ○佐藤 真理
東京大学生産技術研究所 正会員 桑野 玲子

1. 目的

近年都市部において頻発している道路陥没事故は、社会的損失が大きいかかわりなく、その対策は未だ対症療法の域を脱していない。道路陥没は何らかの原因により地盤内で土砂が亡失し、それによってできた空洞やゆるみ（地盤の密度低下）が地表面に進展することで発生すると思われるが、詳細なプロセスについては研究が進んでいない。そうした中、下水管破損部からの土砂流出が陥没事故の主要因の一つであると考えられており、今後高度経済成長期に敷設された下水管が一斉に老朽化の時期を迎えることから、陥没事故の増加が懸念されている。本研究では、下水管破損部からの水の地盤内への流出入の繰り返し（図1参照）により引き起こされる空洞形成を想定した模型実験を行い、画像解析や様々な指標を用いた分析を行うことで空洞形成・陥没に至るプロセスをいくつかの要因に分けて説明した。

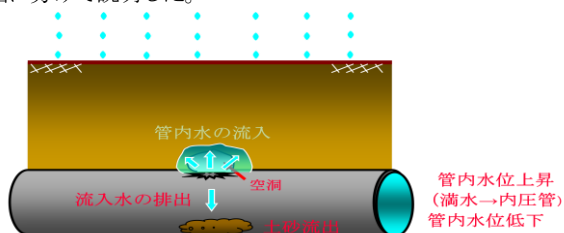


図 1 下水管破損部からの水の流出入プロセス

2. 実験装置と実験条件

実験装置を図2に示す。土槽の大きさは長さ 30cm、幅 5cm、高さ 20cm であり、土槽内につき固めによって模型地盤を作成した。土槽の幅は狭く、地盤変形は2次元のとみなしてよい。地盤作成の際に幅 2.5cm 間隔で水平方向に色砂を薄く敷設し地盤変形を観察するための目安とした。土槽底部中央には5mm 幅の開口部を設置し、この開口部から水を給水して一定時間静置した後排水を行うという過程を繰り返した。一回の給水量は 100ml である。実験の記録は排土量(排出された土砂の乾燥重量)測定と、土槽前面からの写真撮影によって行った。地盤変形や空洞が土槽内で十分に拡大したことを確認した後に実験を終了した。

実験条件については地盤材料や相対密度、初期含水比を変化させた。具体的な条件を表 1 に示す。なお本研究では給水後排水が終わるまでを 1 サイクルとし、以下の説明でも用いた。

キーワード 陥没, 模型実験, ゆるみ, 空洞, 画像解析

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Bw304 東京大学生産技術研究所 TEL03-5452-6845

表 1 実験条件

No	ケース名	地盤材料	初期含水比 (%)	相対密度 (%)
1	T _{14, 80}	豊浦砂	14	80
2	T _{14, 60}	豊浦砂	14	60
3	K _{10, 80}	五号珪砂	10	80
4	K _{0, 80}	五号珪砂	0	80
5	K _{5, 80}	五号珪砂	5	80
6	K _{10, 60}	五号珪砂	10	60
7	E _{15, 5, 80}	江戸崎砂	15. 5	80
8	E _{0, 80}	江戸崎砂	0	80
9	E _{7. 8, 80}	江戸崎砂	7. 8	80

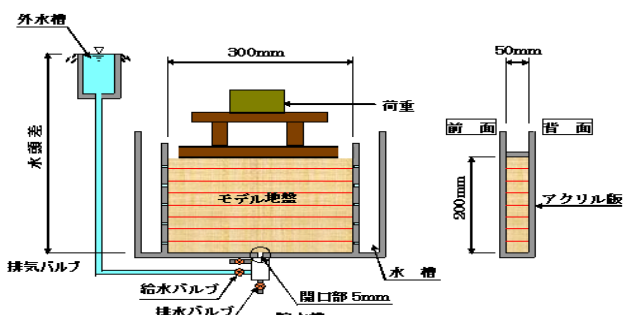


図2 土砂流出実験用小型土槽

3. 実験結果

図3に豊浦砂 ($T_{14,80}$, $T_{14,60}$) の給排水サイクルごとの排土量の推移を示す。排土量はあるサイクルを境に急激に増加した。このサイクルは地盤が上部から崩落したタイミングとほぼ一致していた。また、地盤変形部が急激に拡大した後に空洞の大きさが急増する場合が多くみられた。

全体的傾向として、i)平均粒径が大きく、ii)粒度が悪く、iii)相対密度が小さく、iv)初期含水比が大きいほど土砂が流出し易く、空洞形成が急速であった。

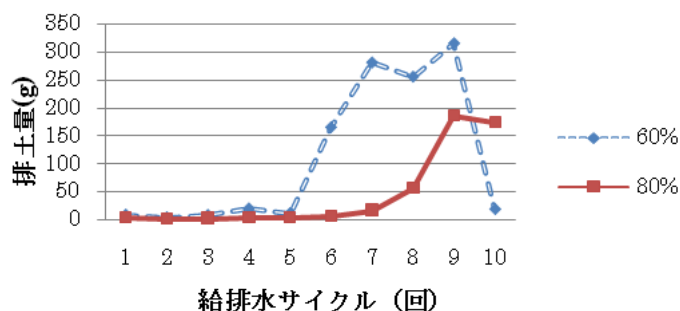


図3 $T_{14.80} \cdot T_{14.60}$ の排土量推移

4. 追加実験

土槽前面部から計測した空洞面積を用いて空洞部からの土砂排出量を算出したところ、実際の排土量を大きく下回ることが判明し、空洞部以外からも土砂が流出している可能性が高いことが示唆されたため、空洞周辺から流出し易いのは細粒分であると仮定し、実際に流出した土砂に含まれる細粒分割合を測定した。江戸崎砂(E_{15.5,80})における実験結果を図4に示す。初期細粒分含有率とは、モデル地盤作成時の細粒分含有率である。この結果より初期サイクルから細粒分流出が発生しており、また細粒分の流出はサイクルを経る毎に増加していることが示された。

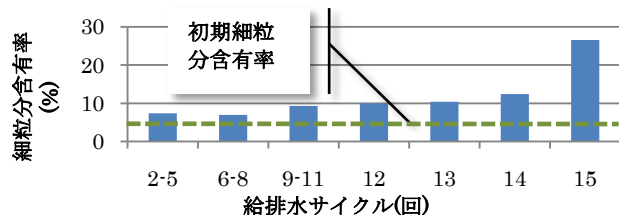


図4 E_{15.5,80}における細粒分含有率推移

5. 画像解析

土槽前面から撮影した画像を用いて、PIVによる画像解析とそのひずみ分布図の作成を行った。PIVは連続した画像において土粒子の動きを輝度分布のパターンマッチングによって追跡する手法であり、本研究では土粒子そのものがもつ輝度分布のばらつきによりパターンマッチングを行った。また画像解析により得られた土粒子の座標データからひずみ分布図を作成した。PIVによる画像解析では、①粒径がある程度大きく ②亀裂の発生や崩落など大きな変形が発生していない条件であれば土粒子を追跡できていた。ひずみ分布図作成の結果、T_{14,80}においては給排水の繰り返しによって空洞から鉛直方向にひずみが拡大すること(図5参照)が確認された。ひずみの増加は排水中が最も顕著であった。

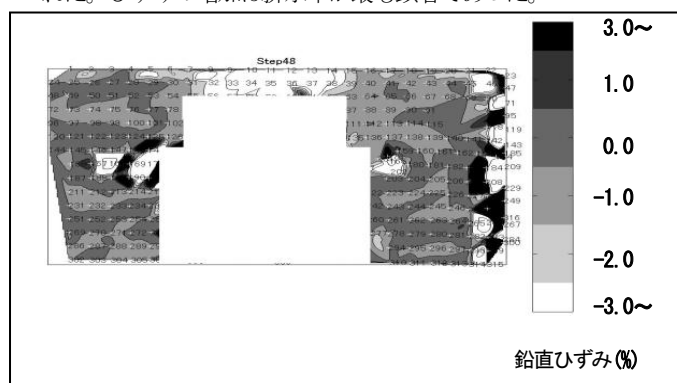


図5 T_{14,80}鉛直ひずみ分布図

6. 空洞形成プロセスの考察

本実験における空洞進展過程で現れる現象を一般的にまとめると、①空洞周辺部から土砂が崩落(主に給水後排水前)、②空洞上部の地盤のスリット方向への変形・亀裂形成、③地盤上部

からの大きな崩落(主に排水中)、④空洞周辺部からの細粒分の流出、となった。

②と③はある程度サイクルが進んだ後で現れる現象である。③の現象が発生すると空洞が急激に拡大し、排土量も増える。以後給排水を繰り返すこと①～④の現象が複合して発生し、ゆるみ・空洞が拡大した。これらの現象はi)飽和度の上昇による有効応力・サクションの低下、ii)浸透破壊、iii)浸透流による細粒分流出が主要因であると考えられる。それぞれの空洞形成過程で起きた現象とその要因をまとめたものを図6に示す。

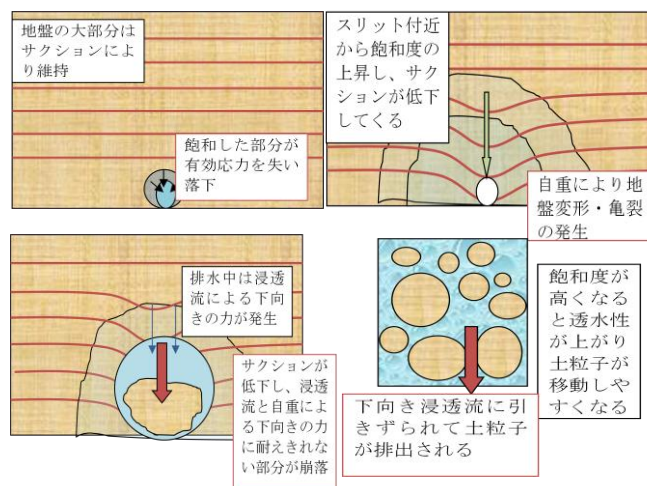


図6 空洞形成要因まとめ

7. まとめ

本研究は地盤陥没防止のための基礎的研究の枠組みの一つとして行った。実地盤においては水の流出入により空洞が拡大する際、同時に周辺地盤も不安定な状態となるため道路上の小さな衝撃によって容易に崩落する危険性が高まると考えられる。また、空洞周辺部からの細粒分流出に伴うゆるみ領域が形成されている可能性が高い。

参考文献

- ・『土木研究所資料 管渠埋設地盤内の空洞・ゆるみ形成メカニズムに関する研究』、独立行政法人土木研究所、材料地盤研究グループ 土質チーム(2007年)
- ・佐藤真理、桑野玲子、瀬良良子、小池豊(2009)、“地盤陥没未然防止のための基礎的検討の枠組み”、第44回地盤工学研究発表会、横浜、2009年8月
- ・瀬良良子、小池豊、WILHELM P. J. van der MEER、太田雅彦、桑野玲子、佐藤真理、(2009)、“地中レーダによる地盤のゆるみ検知の可能性 ー大型ピットを用いた空洞実験ー”、第44回地盤工学研究発表会、横浜、2009年8月。
- ・Karimi, J. M ; Effects of Large Amplitude Cyclic and Creep Loading on Strain Localization Properties of Dense Toyoura Sand、東京大学大学院修士論文(2004年)