

下水道管の老朽化に伴う道路陥没のモニタリング・プロファイリングに関する基礎的研究 —降雨の影響—

日本大学理工学部 正会員 下辺 悟

日本大学理工学部 正会員 齊藤 準平

日本大学理工学部 学生会員 ○横山 未来

日本大学理工学部 永峯 弘一

1. はじめに

日本国内における道路陥没発生件数は、昭和 50 年代から増加傾向にあり、昭和 61 年から現在に至るまで毎年 3,000 件以上発生している。主な原因は、下水道管の老朽化による破損で発生した漏水によるものであり、管内への土砂・地下水流入、管外への管内内容物の漏出などの給排水サイクルにより土中に空洞・水みちが発生し、それが拡大しながら進展することで道路陥没は発生するとされている。実際に、道路陥没の発生過程の様相は桑野ら¹⁾により地盤内空洞を起因とする地盤陥没に関して研究が行われている。しかし、含水量やサクシオンなどの土質パラメータを用いてモニタリング・プロファイリングする研究は進んでいない。

本研究は、下水道管の老朽化に伴う道路陥没の発生メカニズムを、当該模型地盤-埋設管系におけるモニタリング・プロファイリング手法を用いて検討した。今回は一連の当該研究の流れの中で、特に下水道管の繋ぎ目破損状況や降雨の影響を調べた。ここでは、本モニタリング計測用センサとして ADR 土壌水分計（以下、ADR と称する）、Hydra Probe II（以下、HP II と称する）、サクシオン測定用マイクロテンシオメーター（以下、MT と称する）、地盤変位測定用ひずみ計（以下、ひずみ式変位計と称する）を用いた。

2. 実験器具と実験方法

2. 1 含水量キャリブレーション実験

本実験では、含水量計測に ADR と HP II を用い、また、試料土としては山砂（千葉県東金産）と関東ローム（千葉県船橋産）を用いる。給水により所定の含水状態に設定した試料を供試体作製用モールドに詰め、ハーバード・ミニチュアコンパクターを用いて締め固めを行い、供試体表面に ADR または HP II を挿入し、その出力電圧 V_{wet} や誘電率の実部 ϵ_r の平均値を求める。その後、JIS 炉乾燥法により含水比 w を測定し、乾燥密度 ρ_d を決定する。次いで体積含

水率 θ_w や飽和度 S_r 等の値を算出し、 V_{wet} や ϵ_r との関係性をキャリブレーションカーブとして作成する。さらに自然蒸発過程においても同様の実験を行う。

2. 2 下水道管継手の破損を想定した浸透漏水実験

本実験では、施工不良や交通荷重の影響を受けやすい下水道管継手からの漏水による影響を想定し、モデル下水管の両側面と鉛直下方向から漏水させた。実地盤の状態に近い含水比 20% で実験を行い、山砂単層地盤内のモデル下水管の開口部から水頭差 100cm の圧力で水を流入・漏水させ、土槽内が飽和状態になるまで給水を行い、土表面が冠水したら給水を停止し、その後排水するサイクルを繰り返した。各 HP II、MT、ひずみ式変位計はリアルタイムで計測した。なお、各センサの埋設箇所は図-1 に示す。

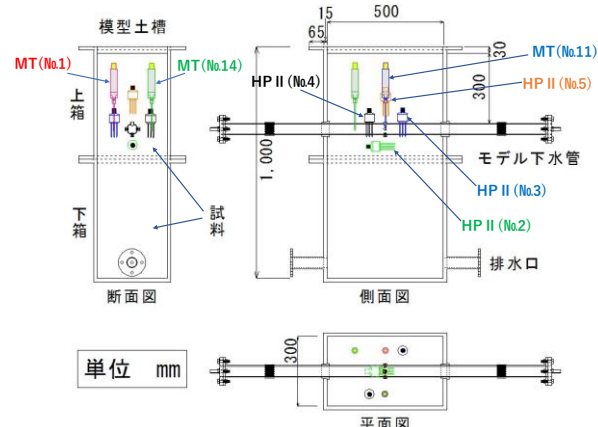


図-1 センサ埋設箇所（継手破損を想定した実験）

2. 3 降雨を想定した浸透漏水実験

本実験では、道路陥没が毎年6月から8月にかけて最も多く発生していることや、近年多発する局地的豪雨による影響を想定し、模型土槽上部に設置した降雨装置から1時間降雨量 60mm を再現した。人工降雨装置からの降雨により、土槽表面に雨水を浸透させる。下水道管からの流出は腐食による破損が最も多い管頂部から漏水させた。各 HP II、MT およびひずみ式変位計はリアルタイムで計測した。なお、当該降雨実験でのセンサ埋設箇所は図-2 に示す。

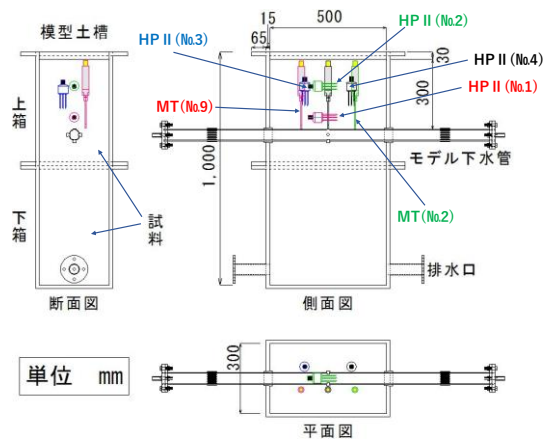


図-2 センサ埋設箇所（降雨を想定した実験）

3. 実験結果と考察

3.1 含水量キャリブレーション実験

山砂と関東ロームの含水量キャリブレーション実験結果から、体積含水率 θ_w と誘電率の実部 ε_r の関係をグラフ化したものを、図-3に示す。なお、図中には、ADR と HP II で計測した今年度のデータと ADR で計測した研究室の過去蓄積データも併記した。

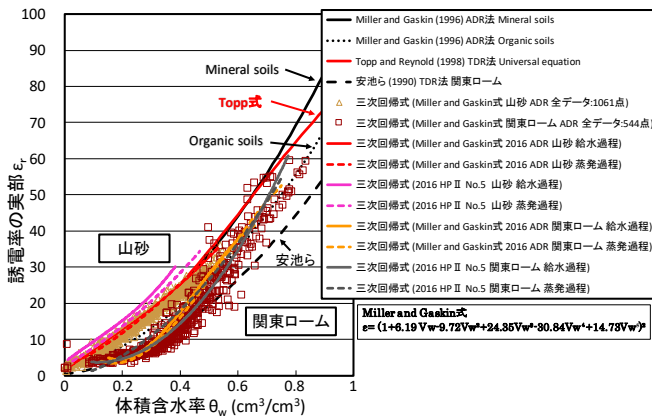
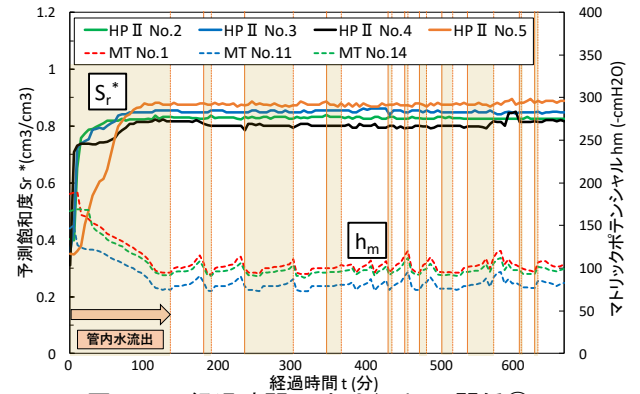
図-3 体積含水率 θ_w と誘電率の実部 ε_r の関係

図-3より、山砂と関東ロームの θ_w - ε_r 関係のキャリブレーションカーブは、相関係数が 0.97 以上と高くなった。研究室の過去蓄積データと今年度の給水・蒸発過程の当該キャリブレーションカーブは、同様の傾向を示しており、ヒステリシス現象は見られず、ADR と HP II の実用性と信頼性は高いと言える。

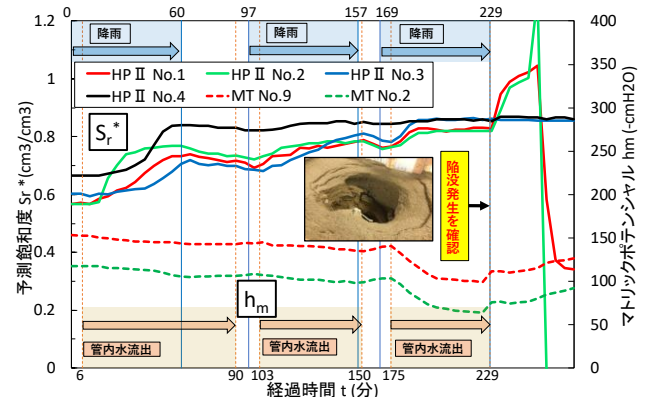
3.2 下水道管継手の破損を想定した浸透漏水実験

経過時間 t と予測飽和度 S_r^* 、マトリックポテンシャル(サクション) h_m の関係を図-4に示す。含水量キャリブレーション実験から得られた当該回帰式に、HP II を用いて測定した誘電率の実部 ε_r を代入し S_r^* を算出し、かつ MT による h_m を求めた。漏水箇所が両側面と鉛直下方向であったため、モデル下水管内への土砂の流入が少なく、地表面変位に大きな変動はなく、最大で径 2 mm 程度の穴が複数確認できた。

図-4 経過時間 t と S_r^* 、 h_m の関係①

3.3 降雨を想定した浸透漏水実験

3.2の実験と同様に、 S_r^* と h_m を算出し、経過時間 t との関係を図-5に示す。図-5より、予測飽和度の変化を見ると、No.4 の HP II が実験開始から S_r^* は大きく値が出ている。これは、降雨が集中していた地表面の真下に埋設されており、浸透してきた雨水に反応・検出したためと考えられる。図中に示した、表面陥没の発生を確認した 229 分の直前では S_r^* が増加し、 h_m の値が減少している。これは土槽内の下水管付近が飽和状態に近づいているためと思われる。陥没の発生確認後、No.2 と No.3 の HP II の S_r^* 値が急上昇してから 35 分後に急降下している。これはモデル下水管の漏水箇所に土砂が流入し、センサのロッド部分が露出したためと考えられる。

図-5 経過時間 t と S_r^* 、 h_m の関係②

4. 結論

- ① 道路陥没の発生過程を各種センサでモニタリング・プロファイリングすることが可能である。
- ② 降雨により土層全体が飽和状態に近づき、土の流動性が高まっていたため、下水管内に大量の土砂が流入し大きな陥没に繋がった。

引用・参考文献

- 1) 桑野玲子, 佐藤真理, 瀬良良子: 地盤陥没未然防止のための地盤内空洞・ゆるみの探知に向けた基礎的検討, 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.2, pp.219-229, 2010.