H2-2

下水道管の老朽化に伴う漏水による道路陥没のモニタリング手法に関する基礎的研究

Fundamental Study on Monitoring Method of Road Cave-in due to Water Leak Attendant on Aging of Sewer Pipe

下辺 悟¹, 齊藤 準平¹, 長谷川 宗徳², 秋元 佑介³, 〇川口 廣起³ Satoru Shimobe¹, Junpei Saito¹, Munenori Hasegawa², Yusuke Akimoto³, Hiroki Kawaguchi³ Abstract: Currently, in Japan, the number of cases for road cave-in is about 4700 in 2011. It is due to the aging of sewer pipe. The main cause is an outflow of soil from the opening portion of sewer pipe, and then it is said that the road cave-in generates when the cavity occurs, progresses and expands. Indeed, the previous studies to monitor the aspects of the developmental process of road cave-in exist, but the approach using directly soil parameters such as soil water content and suction does not see. Therefore, a detailed resolution based on the fundamental study in this field has been strongly desired.

This study presents and discusses on the associated generation process of road cave-in with water movement in ground-buried pipe systems by the previously proposed real-time monitoring method.

1. はじめに

現在,我が国の道路陥没件数は,平成23年度で約4700 件あり,その主たる原因は下水道管の老朽化である.当該 メカニズムは,下水道管の開口部から土砂が流出して空 洞が発生し,それが進展・拡大することにより道路陥没 が発生するといわれている.実際に,道路陥没の発生過程 の様相をモニタリングする既往の研究はあるが,含水量 やサクションなどの土質パラメータを直接用いてモニタ リングする事例は見受けられない.それゆえ,この分野の 基礎的研究による詳細な解明が切望されている.

本研究は、当該関連する地盤-埋設管系における水分 移動を伴う道路陥没の発生過程をリアルタイム・モニタ リング手法によって検討したものである.ここでは、主に 含水量測定用 ADR センサー(以下, ADR と略称する), 圧力ポテンシャル測定用マイクロテンシオメーター(以

下, MT と略称する), ひずみゲージを応用した変位計 (以下, ひずみ式変位計と略称する)および土中温度計 を用いた.

2. 試験器具と試験方法

ADR (Amplitude Domain Reflectometry) 法で用いる ADR は、土の誘電率 ε をその出力電圧 V_{wet} より求める機 器である. この ADR 法は、事前に測定する対象土におけ る V_{wet} と体積含水率 θ_w のキャリブレーションカーブを求 めておき、これに V_{wet} の測定値を代入し、予測体積含水 率 θ_w^* を算出する間接法の一種である.

試験は山砂(千葉県東金産)と関東ローム(千葉県船橋産)を所定の含水状態に設定し,供試体作製用モールドに均一に詰め,ハーバード・ミニチュアコンパクターで9層に分けて締固めを行い,供試体の表面3箇所にADRのロッド部分を差し込み,V_{wet}の平均値を求めた. 当該キャリブレーションカーブはJIS 炉乾燥法により含水比wを測定し,乾燥密度 ρ_d の決定を経て θ_w や飽和度 S_r 等の値を算出し,V_{wet}との関係を作成した^[1].また自然蒸発過程においても同様の試験を行った.さらに,これらの回帰式それぞれに測定したV_{wet}の平均値を代入し θ_w^* ,予測含水比w^{*}および予測飽和度 S_r^* を計算した.

Figure 1 はモデル埋設管図と各センサーを配置した模型土槽の構成図である. 模型土槽による浸透漏水試験では, 著者ら^[1]の提案する ADR-MT 法およびひずみ式変位計 を用いた地盤陥没モニタリングシステムの構築と適応性 を目的として,地盤-埋設管系を想定した模型土槽(山 砂:相対密度 D_r≒6.5%)で,所定の位置に ADR 7本, MT 4本を埋設し(Figure 1 参照),モデル埋設管からの 浸透漏水試験を行った.ここでは,通水圧を調整し,モデ ル埋設管の開口部から水頭差 100cm^[2]の圧力で漏水させ, 各 ADR, MT, ひずみ式変位計および土中温度をリアル タイムで計測した.土槽内が飽和状態になるまで給水を行 い,1時間給水を止め排水をする所定のサイクルを3回 繰り返した.なお,この方法は土槽内に設置したモデル埋 設管に通水させた流水確認試験,土槽組立て箇所からの 漏水確認試験ならびにセンサー埋設箇所の確認試験等の 種々の予備試験結果によって検討され,確立されたもの である.



Figure 1. Layout view of each sensor and the block diagram of the model soil box

試験結果と考察

(1) ADR 法による含水量のキャリブレーション

Figure 2 に山砂と関東ロームの三次回帰式による,それ ぞれの V_{wet} と θ_w のキャリブレーションカーブを示す. Figure 2 より,本研究室内における山砂と関東ロームの各 全データ数による三次回帰式の相関係数 R は,山砂は 0.99,関東ロームは 0.97 であり絶対誤差も両者とも ±(2~4)%以内であったことから、土の V_{wet} と θ_w の関係は、 センサーの器差や個人誤差等の影響は無視でき、当該三 次回帰式で表されることがわかる.また、透水性の良い砂 質土である山砂と保水性の良い火山灰質粘性土である関 東ロームを同一出力電圧で比較すると、関東ロームは山 砂よりも θ_w が高くなっていることがわかる.以上より、 この図から V_{wet} のみで対象土の θ_w を簡便に精度よく求め ることが可能であり、ADR 法の信頼性はかなり高いとい える.

(2) 模型土槽による浸透漏水試験

Figure 3 に、山砂を用いた模型土槽表面の陥没過程にお ける浸透漏水試験の経過時間 t と θ_w^* の関係を示し、 Figure 4 に、経過時間 t と土槽表面の陥没状況の関係を示 す. なお、陥没状況は土中ひずみで表した. ここでは、各 センサーに大きな変動が見られた経過時間 2500 分以降の データを表示する. また、経過時間 2650 分付近で給水速 度が急激に上がった(急速給水)が、これは、模型土槽 への給水ホース内に溜まっていた気泡が一気に抜けたた めと思われる.

Figure 3 より、 θ_w *の変化を比較すると、センサーNo.1、 2が本来ならばありえないほど大きな値を検出している. これは、2つのセンサーのロッド周辺に局所的に空洞が 発生し、そこに水のみが存在していたためと考えられる. また、排水を開始して、この2つのセンサーの θ_w *が大き く低下した後に地表面に陥没が発生していることから、 センサー付近の空洞を支えていた水が排水されたことに より、空洞を支えきれなくなった結果、地盤土が沈下し、 陥没が発生したと考えられる.





content (Pit sand and Kanto loam)



Figure 3. Relationship between elapsed time and predicted volumetric water content in soil box test (Pit sand)



Figure 4. Relationship between elapsed time and of surface strain in soil box (Pit sand)

Figure 4より,各ひずみ式変位計の値をみると,土槽内の地盤は水が浸透していくにつれて,全体的に沈下が発生していることがわかる.これは,水が浸透したことにより地盤が水締めされたためと思われる.経過時間 2680 分で1回目の表面陥没を確認したが,ひずみ式変位計に大きな反応は見られない.その原因は,当該表面陥没がひずみ式変位計の設置範囲外であったためである.さらに,模型土槽表面中央に設置したひずみ式変位計 No.IIIが大きな値を示し,その中央から外側へ離れるにつれ,その値が小さくなっていることが確認され,漏水箇所に近い地点ほど陥没の変化が大きいことがわかる.漏水した水の浸透が地表面まで達した時には水が噴出したこと,それと共に噴出口周辺が盛り上がったことが試験中観測された

(経過時間 2810 分に,2 回目の表面陥没).これは,給 水を止め排水したことにより管開口部からの水圧が無く なり,発生した空洞が地盤の自重を支えきれなくなった 結果,地盤が崩落し,地表面に陥没が発生したと考えら れる.

4. 結論

- ① 表面陥没の要因は、既往の研究で判明している管内 への土砂流出だけでなく、本研究のように埋設管内の 水が漏水した結果、地盤が水締めされ全体的に沈下す ること、ならびに、漏水圧力と浸透水圧により土中に 発生した空洞が拡大・進展すること、そして給水・排 水サイクルによって発生すると考えられる。
- ② 模型土槽での浸透漏水試験から、著者らの提案する ADR-MT 法によって水が浸透していく過程をリアル タイムでモニタリングできることがわかった.また、ひ ずみ式変位計を用いることで土槽内の地盤の含水量-サクション挙動に対する当該レスポンスの裏付けがプ ロファイリングされた.

引用・参考文献

- [1]下辺悟・金子翔: ADR-MT 法を用いた降雨によるモ デル斜面崩壊実験および実斜面における水分移動の プロファイリング,平成 24 年度第 57 回地盤工学シ ンポジウム論文集, pp.117-120, 2012.
- [2]桑野怜子・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, pp.349-361, 2010.