

地下の水みち探索における地中流水音測定の有効性の検討

東京大学大学院 学生会員 ○小南 直翔

東京大学生産技術研究所 フェロー会員 桑野 玲子

1.はじめに

豪雨等の気象の激甚化により発生リスクが高まっている地盤陥没は、発生箇所や時間帯によって人的被害を伴う事故に繋がる可能性があるため、その未然防止のために地下地盤の状況を把握し、対策することは重要である。現在用いられている地盤調査手法には、ボーリング調査や表面波探査があるが、これらの調査は時間や費用を要する点や、単体では確実な情報を得られない点が問題として挙げられる。そこで、地盤陥没の主要因と考えられる地下の水みちを探索する新しい手法として、本研究では従来の地盤調査手法を補完する簡易な非破壊調査手法である地中流水音測定を提案し、その有効性を検討する。

2.調査手法

測定には図 1 に示す地中流水音測定装置を用いた。センサーを地表面に刺すことで地中の音を拾い、その大きさを測定地点の代表値として D-値と定義し出力する。調査地に設定した測線の D-値のデータから、調査地の地下流水の状態を評価した。



図 1 地中流水音測定装置
(拓和(株)提供)

3.調査箇所及び概況

2013 年以降多数の陥没が発生しているネパール中部のボカラにあるアルマラ地区、及び平成 28 年 9 月 19 日に上陸した台風 16 号によって出現した都城市の大規模陥没孔周辺を調査地とした。図 2 にアルマラ地区の上空写真と設定測線、及び過去の陥没履歴を示す。アルマラ地区は扇状地内に畑が広がっており、そこに 2 つの川が流れている。既往の調査では陥没の底に粘土質シルト層が確認されており、地表面に白い粘土質シルトが露出している箇所もあった。アルマラ地区では扇状地を横断する形で A 測線(L=270m)、それに垂直に C 測線(L=107m)及び D 測線(L=120m)を設定し、平成 28 年 12 月に測定した。道路がある便宜上 A 測線は A1 測線(L=70m)と A2 測線(L=200m)に分けた。図 3 に都城の陥没付近の上空写真と設定測線を示す。都城市に発生した陥没孔は延長約 31m、幅約 13m、深さ約 7m であり、周りはシラスによって形成されている台地状の畑地で、普通の畑に比べて雨水浸透が速いと言われている。陥没の西側に A 測線(L=50m)、東側に C 測線(L=50m)、西に離れた位置に B 測線(L=40m)を設定し、平成 28 年 12 月に測定した。また、平成 29 年 2 月の追加調査では、A 測線と B 測線の間に E 測線(L=34m)、垂直に D 測線(L=66m)を設定した。測定はアルマラ地区の A 測線は 5m 間隔、その他の測線は 2m 間隔で実施した。

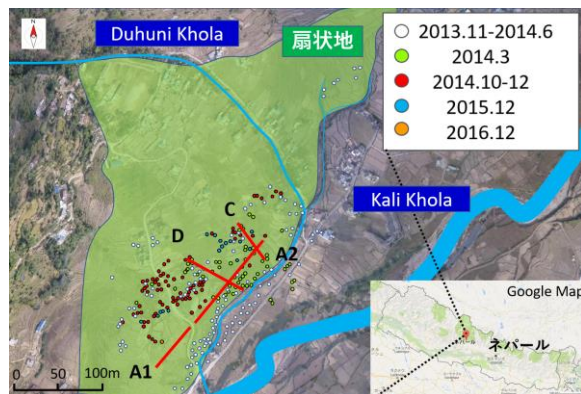


図 2 アルマラ地区の設定測線及び陥没履歴
(平成 28 年 12 月航空写真)

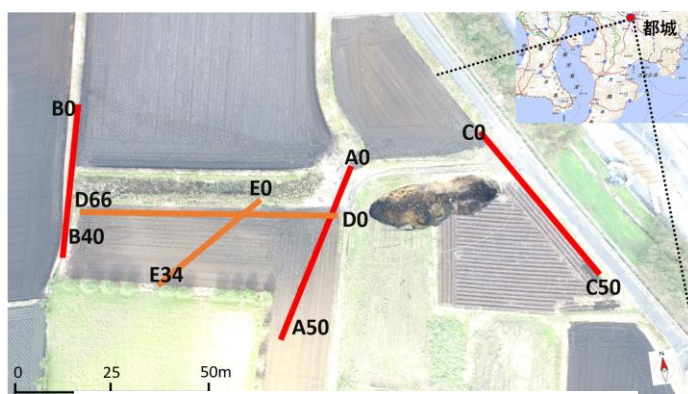


図 3 都城の発生陥没及びの設定測線
(平成 28 年 12 月航空写真)

4.調査結果及び考察

4.1 アルマラ地区

図 4 にアルマラ地区の測定結果を示す。A 測線と D 測線の交差点である D 測線の 40m 付近や A2 測線の 80m 付近、A1 測線の 110m 付近に大きい D-値が確認された。一方で、C 測線の 0m 付近、A1 測線前方や A2 測線の 0m 付近で小さい D-値が確認された。地表面に湧水や溜まり水が生じているところがあり、そのような地点では D-値が小さかった。D-値が大きい箇所については、泡の破裂音のような水の流音が聞こえ、場所によって音の高さに違いがあったり、破裂音の連続する速さが異なったりという、音の大きさだけではない違いが確認された。これらの要素は D-値には反映されなため、今回の地中流水音測定結果ではおおよその流水音の様子のみが把握された。図 5 に湧水及び溜まり水地点と、推定した地下の水みちの箇所を示す。図 6 に示すように、陥没が発生し、土砂が底に溜まり、陥没が埋め戻されることによって、過去に発生した陥没跡は水みちが塞がり、通れなくなっていると考えられる。通れなくなった水は

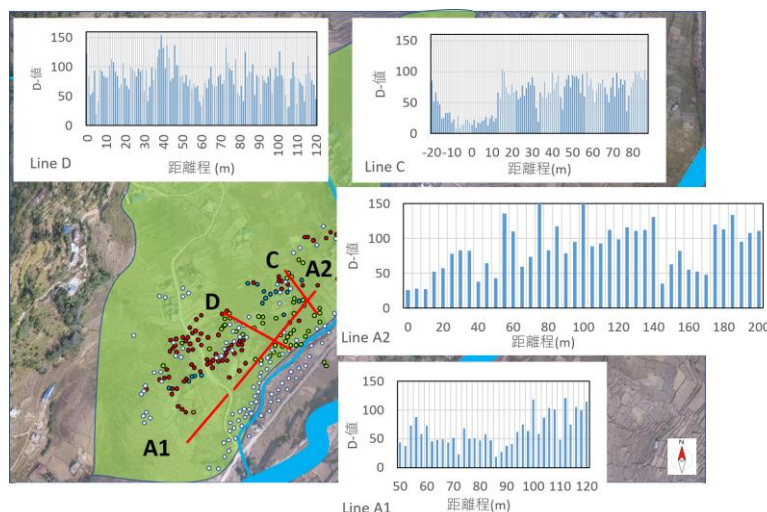


図4 アルマラ地区の地中流水音測定結果

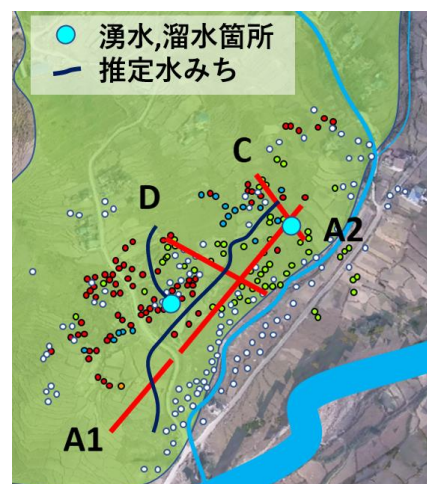


図5 湧水位置及び水みちの推定

地表面に湧き出するか、別の方向へ進み、新たな水みちを形成するのではないかと考えられる。このようにして、過去の陥没履歴と、地中流水音調査の D-値の大きい箇所を参照し、水みちは過去の発生陥没の間を縫うようにして地下を流れているのではないかと仮説的に推定した。しかし、これを裏付けするにはさらなる測線の追加調査や精細な測定が必要である。

4.2.都城

図7に都城市で発生した陥没周辺の測定結果を示す。C 測線が全体的に大きな D-値を示し、A 測線や B 測線の茂み部分では D-値が大きく、畑地では小さい傾向が確認された。C 測線は道路に面しているため、車のノイズが大きく、また茂み部分は草の動きによるノイズがあり、D-値の過大評価に繋がったと考えられる。また、本調査地の他の地点でも流水音と判別できる音が聞こえなかったことから、水はけの良い地盤では水の流れが確認できないことがわかった。

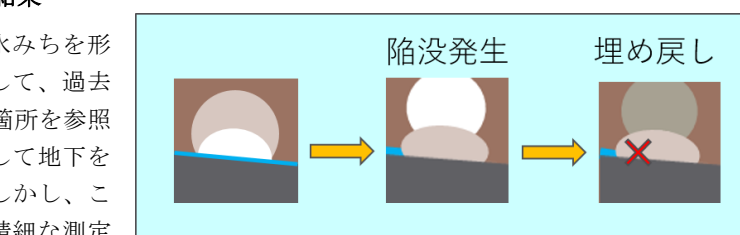


図6 過去陥没と水みちの関係

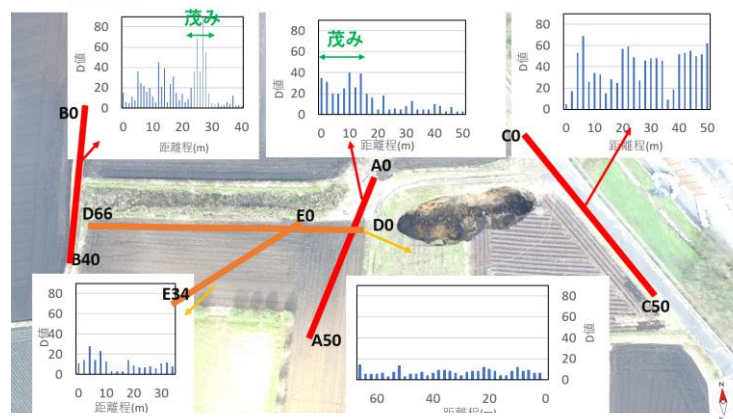


図7 都城市陥没周辺の地中流水音測定結果

5.まとめ

二つの調査地を対象に、地中流水音測定を実施した。その結果、アルマラ地区では流水音が確認され、仮説的に水みちを推定した。一方で、都城では流水音が確認されなかった。本研究の課題として、装置がノイズを D-値として過大評価してしまう点や、音の大きさのみではおおよその様子しか把握できない点が挙げられる。そこで、今後は音声解析を用いたノイズキャンセリングや周波数スペクトルの分析等が必要であると考えられる。また、都城市では陥没孔周辺の復旧、埋め戻し工事が予定されているため、その際に水みちの目視による確認を試みる。

6.謝辞

拓和株式会社には測定機材を提供いただいた。宮崎県都城市土木事務所及び都城市役所の小野様には現地調査においてご協力いただいた。また、写真やデータについても提供をしていただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

7.参考文献

- 1) Rama Mohan Pokhrel et al: 'Preliminary Field Assessment of Sinkhole Damage in Pokhara, Nepal', International Journal of Geoengineering Case Histories, Vol.3, Issue 2, pp. 113-125, 2015
- 2) R. Kuwano et al (2016) 'Investigation into the multiple recent sinkholes in Pokhara, Nepal', Scour and Erosion, pp. 1117-1122
- 3) 小南直翔(2017), "宮崎県都城市五十町の陥没発生地における地盤調査", 第 52 回地盤工学研究発表会, 名古屋, 2017 年 7 月