

地中 CO₂ 濃度測定による地下水位変動予測に関する基礎実験

北九州市立大学 正会員 ○山田百合子
北九州市立大学 フェロー 伊藤 洋
北九州市立大学 福田 大輔

1. はじめに

昨今、集中豪雨による土砂災害によって、日本各地で大きな被害をもたらしている。土砂災害の発生の主原因の一つとして集中豪雨による地下水位の上昇が挙げられる。そのため、大規模な土砂災害が想定されるような場所では、地下水位観測井を設置して観測を行っている。しかし、観測井の設置は土砂災害警戒区域のような急斜面では掘削作業が容易でないこと、メンテナンスやコスト面などで課題がある。

現在、伊藤らは地中の CO₂ 濃度を直接リアルタイムでモニタリングできる新しいシステムを開発中であり、これまでの研究で降雨時の地下水位変動に伴う CO₂ 濃度の基礎的な挙動を捉えることに成功している^{1)~3)}。本研究では、本モニタリングシステムに豪雨時の耐水性を考慮した改良を加え、地中の CO₂ 濃度変化から地下水位変動を迅速に予測できるか否かを検証する基礎データを得ることを目的として実験を行った。

2. 本モニタリングシステムの概要

図1は、本モニタリングシステムの概要である。塩化ビニル製の円筒管に非分散型赤外線吸収型 CO₂ センサー(測定範囲:0~30%)を設置し、上部に蓋をした。円筒管の下部は、水分は通過せずガスのみが通過する親水性の無機系透過膜で被覆した。また、CO₂ センサーも水分に接触しないように無機系透過膜で被覆した容器内に入れた。このモニタリングシステムでは、水位の上昇により、地中下層に蓄積した高濃度(1~10%レベル)の CO₂ が表層に向かって移動すると想定し、その CO₂ が円筒管内に入り上部のセンサーで検知する。円筒管内は、より早く検知するため断熱材で気道空間を狭めている。

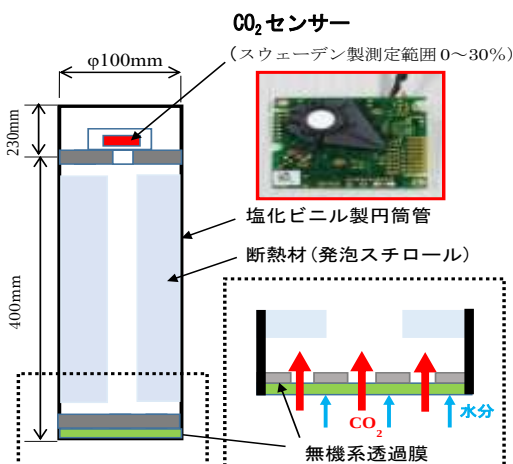


図1 CO₂ モニタリングシステムの概要

3. 室内実験

3.1 地下水位影響確認実験

図2は、室内実験の装置を示したものである。塩化ビニル製の土槽容器内に市販の培養土を充填し、CO₂ モニタリングシステムを埋設した。まず、実験装置下部より土壤中に CO₂ ボンベのガスを一定量(123mL)注入した。ガス注入10分後、地下水を模擬した水を装置側面の透明パイプから一定量注水した。実験ケースは、培養土の下面から0cm(水位無)、9cm(低水位)、18cm(中水位)、27cm(高水位)の位置に水位を設定し計4水準を実施した。

3.2 CO₂ 上昇促進実験

CO₂ 濃度の上昇をできるだけ早期に検出することを目的として、前述の水位無(体積含水率 $\theta = 34.9\%$)の条件下で、①円筒管の底に自己発熱体を設置して温度勾配による対流を発生させた強制対流ケース、②装置の上部に小型のファンを設置し、円筒管内のガスを強制的に吸引排気した強制吸引ケース、③促進なしの標準ケース、の計3水準について実験を実施した。

3.3 室内実験結果

図3は、地下水位影響確認実験の結果を示したものである。水位無

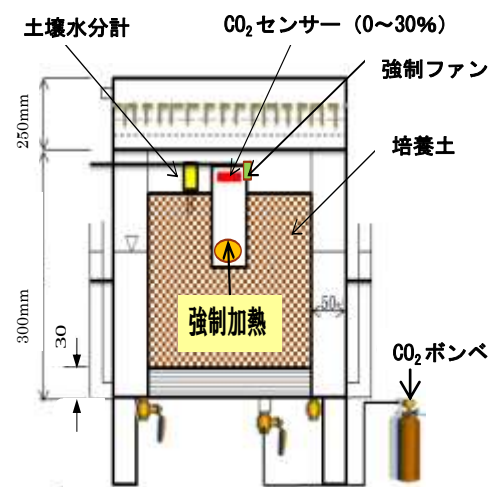


図2 室内実験装置の概要

キーワード 二酸化炭素、土壌、計測センサー、モニタリング、土砂災害

連絡先 〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1 北九州市立大学国際環境工学部 TEL 093-695-3253

に比べ、水位が高くなるほどピーク到達時間が早くなる傾向にあることが示唆された。また、ピークの CO_2 濃度の比較をすると、水位無に比べ水位が高くなるほど CO_2 濃度も高くなる傾向が認められた。これは、水位上昇と同時に地中の CO_2 が押し上げられ、ピーク到達時間が早くなったためと考えられる。また、 CO_2 が水位上昇によって押し上げられた際、地盤の透気抵抗によって空気中に抜けず圧縮され CO_2 濃度が高くなったと考えられる。

図4は、 CO_2 上昇促進実験の結果を示したものである。標準ケースに比べ、熱対流および強制対流付加による促進によってピーク到達時間を大幅に短縮することができた。 CO_2 のピーク濃度を見ると、熱対流による付加が、 CO_2 ピーク濃度が最も高くなったことが認められた。一方、強制対流付加による CO_2 ピーク濃度は標準ケースと有意な差は認められなかった。これは、円筒管内のガスを強制吸引することで濃度希釈された可能性がある。

4. 屋外実験の概要と結果

大学敷地内に、図5に示したように本モニタリングシステムを埋設し、自然条件下での CO_2 濃度と地下水位を34日間計測した。地下水位は深度1mの位置に圧力センサーを設置して測定した。実験期間中は土壌水分計、地中温度の測定に加え地上の気温、気圧などの気象観測も行った。

図6は、実験期間中の CO_2 濃度と地下水位および降雨量を示したものである。同図より降雨によって地下水位が上昇する前に明確な CO_2 濃度の上昇(0.14%→0.49%)が認められる。しかし、地下水位が60cm付近になると CO_2 濃度の変化が見られなくなった。これは、地下水位がモニタリングシステムの底面より高くなったことで地中の CO_2 が円筒管の中に入らなくなったためと推測できる。

5. まとめ

- ① 地下水位影響確認実験において、水位の上昇によりピーク到達時間が早くなり、 CO_2 濃度も高くなることが認められた。
- ② CO_2 上昇促進実験では、標準ケースに比べ熱対流付加により、ピーク到達時間を大きく短縮することができた。
- ③ 屋外実験では、降雨によって地下水位が上昇する前に明確な CO_2 濃度のピーク挙動を捉えることができた。

以上より、本モニタリングシステムにより降雨による地下水位上昇前に CO_2 濃度上昇が検出できる可能性が示唆された。

なお、本研究は平成27年度科学研究費助成事業(挑戦的萌芽研究)の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 伊藤 洋・山田百合子：土壌中の CO_2 濃度のリアルタイム測定，木学会第65回年次学術講演会，pp.179~180，2010.
- 2) 三宮明・伊藤洋・染矢元記・多田康一郎：二酸化炭素地中貯留における CO_2 漏えいモニタリング (I)，第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp.219-296，2012.
- 3) 三宮明・伊藤洋・多田康一郎：CCSにおける CO_2 漏えいモニタリングに関する基礎実験，土木学会第68回年次学術講演会，pp.83-84，2013.

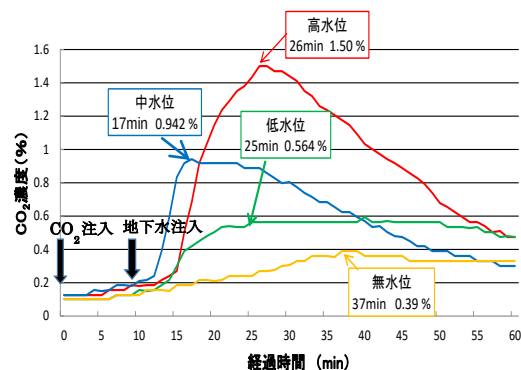


図3 水位のちがいによる CO_2 濃度

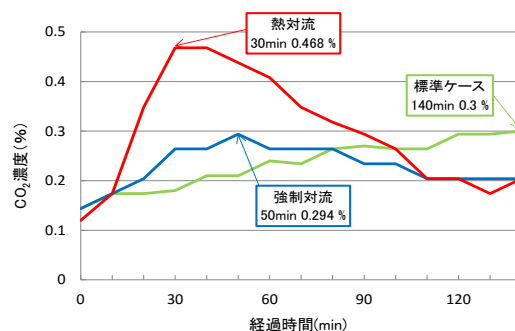


図4 CO_2 上昇促進実験における CO_2 濃度変化

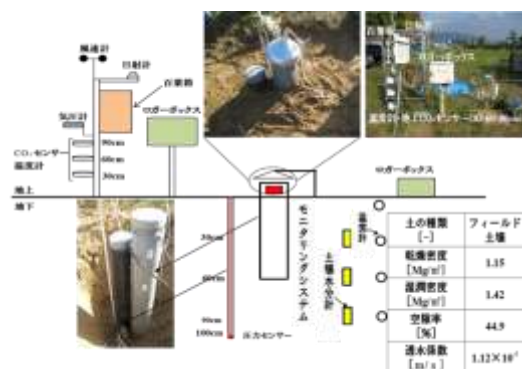


図5 屋外実験の概要

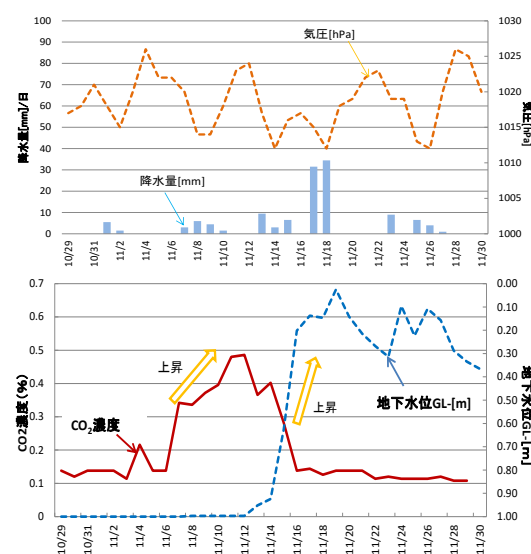


図6 屋外実験の結果