

琉球石灰岩帯水層における調査孔内水の汲み上げ洗浄採水の評価と有効性

Evaluation and Effectiveness of the Pumping Purge Borehole Sampling of Groundwater in the Ryukyu Limestone Aquifer

○ 中野 拓治*, 中村 真也*, 嶺井 志麻**, 溝淵 年哉***, 狩俣 栄作****

NAKANO Takuji*, NAKAMURA Shinya*, MINEI Shima**, MIZOBUCHI Toshiya***, KARIMATA Eisaku****

1. はじめに

南西諸島に位置する沖縄本島南部地下ダム流域(以下、地下ダム流域という)では、多孔質の琉球石灰岩帯水層に賦存された地下水が灌漑利用され、小口径のボーリング調査孔の採水分析による地下水水質のモニタリング調査が行われている。一方、ボーリング孔による地下水調査の採水方法は、「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン」や「ISO規格5667」等に規定され、調査目的や対象水質の種類・状態、水理地質学的特性等に応じて適切に行うとされているものの、琉球石灰岩帯水層の地下水を対象とした採水方法や留意点については体系的に整理・検討されていないのが現状である。そこで、本研究では、地下ダム流域地下水の水質モニタリング調査結果を用いて、琉球石灰岩帯水層調査孔からの地下水採水方法による地下水水質の影響と評価について検討した。

2. 研究方法

地下水水質モニタリング調査は、7地点のボーリング調査孔において夏季(2023年7月)と冬季(2024年1月)の2回実施し、現地観測で水温、pH、およびDO等の測定と、COD、SS、T-N(全窒素)、およびT-P(全リン)の採水分析を行った。分析試料の採水は、調査孔内水の汲み上げ洗浄採水(以下、パージ採水という)と汲み上げ洗浄を伴わない地下水採水器(ベラー)採水(以下、ベラー採水という)の2つの方法で実施した。小口径の調査孔における孔内カメラ観察や段階式エアリフト作業を通じて、孔内の堆積土砂や汚濁の状況等を把握し、孔内汚濁と地下水採水方法が水質測定値に与える影響について検討した。また、ボーリング調査孔の水質測定値の妥当性を評価・検証するため、地下ダム流域内湧水8地点において、調査孔と同じ水質項目の現地観測と採水分析を夏季(2023年9月)と冬季(2024年1月)の2回実施し、地下ダム供用開始後の観測孔・湧水の水質データ等も含めて検討を行った。

3. 結果と考察

3.1 パージ採水とベラー採水による水質測定結果

パージ採水による水温(夏季:25.4°C、冬季:23.8°C)は、ベラー採水(夏季:26.6°C、冬季:22.5°C)に比べて夏季と冬季の温度差が小さく、また、調査孔間の水温差も小さい値を示した(表1)。pHは、パージ採水(夏季:7.3、冬季:7.5)とベラー採水(夏季:7.3、冬季:7.6)の観測値に大きな差異は認められなかった。DOは、ベラー採水(夏季:6.1mg/L、冬季:7.3mg/L)に比べてパージ採水(夏季:5.2mg/L、冬季:5.5mg/L)の値が低くなる傾向が示された。ベラー採水によるSSの分析値(夏季:96mg/L、冬季:257mg/L)は、パージ採水値(夏季:12mg/L、冬季:4mg/L)に比較して夏季で8倍、冬季では60倍以上高い値を示した。CODは、パージ採水値(夏季:1.0mg/L、冬季:0.8mg/L)に比

表1 パージ採水とベラー採水による調査孔における水質測定結果(平均値と測定値の範囲)

水質項目	夏季(2023年7月21日採水)		冬季(2024年1月26日採水)	
	パージ採水	ベラー採水	パージ採水	ベラー採水
水温(°C)	25.4 (25.0~26.1)	26.6 (25.5~28.0)	23.8 (22.5~24.6)	22.5 (21.5~24.0)
pH	7.3 (7.1~7.4)	7.3 (7.1~7.5)	7.5 (7.3~7.7)	7.6 (7.5~7.9)
DO	5.2 (3.0~7.1)	6.1 (3.7~7.9)	5.5 (2.9~7.4)	7.3 (7.1~7.5)
SS	12 (1~76)	96 (2~340)	4 (1~11)	257 (3~720)
COD mg/L	1.0 (0.5~2.9)	9.3 (1.0~47.0)	0.8 (0.5~1.6)	7.0 (0.9~18.0)
T-N	9.4 (5.2~13.0)	8.2 (2.9~12.0)	9.1 (5.3~12.0)	8.4 (5.2~10.0)
T-P	0.07 (0.02~0.32)	0.62 (0.03~3.40)	0.06 (0.02~0.18)	0.90 (0.05~3.00)

*琉球大学 University of the Ryukyus, **内閣府沖縄総合事務局土地改良総合事務所 Cabinet Office Okinawa General Bureau, *** (株)三祐コンサルタント Sanyu Consultants Inc, **** 沖縄県環境科学センター Incorporated Foundation Okinawa Prefecture Environment Science Center

キーワード: 琉球石灰岩帯水層, 地下水水質, 採水方法, 分析試料, 水環境

べてベアラー採水による分析値（夏季：9.3mg/L，冬季：7.0mg/L）が9倍程度高くなっていた。ベアラー採水のT-P分析値（夏季：0.62mg/L，冬季：0.90mg/L）も、パージ採水値（夏季：0.07mg/L，冬季：0.06mg/L）の夏季で9倍、冬季では15倍高い値が得られた。一方、T-Nについては、パージ採水の分析値（夏季：9.4mg/L，冬季：9.1mg/L）とベアラー採水値（夏季：8.2mg/L，冬季：8.4mg/L）には大きな違いは認められなかった。

3.2 地下水採水方法が分析試料の水質測定値に与える影響

調査孔内には、有機物、土砂、カルシウム付着物、バクテリアコロニー等の様々の堆積物や浮遊物質が存在し、孔内塩ビ管の周辺には土砂が多く堆積していたことから、ベアラー採水（採水水深1m以内）では調査孔に長期間停滞した地下水を分析試料として採水したものと考えられた。パージ採水では、気温の影響を受けやすい調査孔内の停滞水が汲み上げられたことで、ベアラー採水に比べて夏季と冬季の水温差が小さくなったものと推察された。また、ベアラー採水では、表層の滞留水を測定したために、パージ採水に比べてDO値が高くなる傾向が示されたものと考えられた。米9C-43上g調査孔では、夏季パージ採水のSS濃度が76mg/Lと高く、残留浮遊物質成分が分析試料に混入した可能性が示唆されたものの、ベアラー採水とパージ採水によるSS濃度の間には、夏季観測・冬季観測ともに正の相関（夏季相関係数：0.913，冬季相関係数：0.746）が認められ、調査孔内水の汲み上げによって停滞水の排除された地下水試料がサンプリングできたものと判断された。CODとT-Pは、パージ採水では分析試料中の懸濁物質（SS）が少なくなり、懸濁態の有機物成分とリン成分が減少した結果、ベアラー採水による測定値に比べてパージ採水のそれらの濃度水準が大きく低下したことが示唆された。一方、T-Nについては、懸濁態の窒素成分による全窒素への寄与度が大きくないため、ベアラー採水とパージ採水の採水方法によって測定値に大きな違いがみられなかったものと推察された。

3.3 地下ダム流域の地下水採水方法による水質測定値の評価検証

湧水の水温（夏季：24.5℃，冬季：22.8℃）とpH（夏季：7.6，冬季：7.2）は、調査孔の測定値と大きな違いは認められなかった（表2）。湧水のDO（夏季：7.1mg/L，冬季：7.7mg/L）は、ベアラー採水値に近い値で、パージ採水値に比較して高くなる傾向が示されたが、これは観測孔内の停滞水と同様に湧水が地表に湧出したことによるものと推察された。湧水のSS（夏季：5mg/L，冬季：2mg/L）、COD（夏季：2.1mg/L，冬季：1.2mg/L）およびT-P（夏季：0.08mg/L，冬季：0.07mg/L）は、いずれもベアラー採水値に比べて顕著に低い値を示し、パージ採水値と同じ濃度水準であった。T-N（夏季：9.9mg/L，冬季：7.8mg/L）については、調査孔の測定値と大きな違いはみられなかった。地下ダム流域湧水の水質測定結果からも、調査孔のベアラー採水による測定データは地下ダム流域地下水の水質状況を的確に測定できていないものと判断された。調査孔の採水水質測定においては、調査孔で大きく岩相（第四紀隆起石灰岩）が相違し、深度によっても不均一な水理地質構造（空洞や空洞堆積物が存在）であるため、十分なパージ洗浄による清浄な地下水の採水が必要であると考えられた。調査孔のパージ採水や湧水の水質測定結果から、全窒素は地下水水質基準値に比較して若干高い水準にあるものの、地下ダム流域では地下水水質の悪化傾向は認められず、他の南西諸島域における地下水の水質レベルと同程度の濃度水準であった。地下ダム築造によって形成された地下水流動場に起因する流入・混合作用と希釈・脱窒作用が硝酸性窒素の空間濃度分布に関与し、地下ダム止水壁によって還元的な環境条件が生み出された結果、地下水中の窒素濃度が脱窒作用で低下している可能性が示唆された。

表2 湧水地点における水質測定結果（平均値と測定値の範囲）

水質項目	水温 (°C)	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
夏季	25.4	7.6	7.1	5	2.1	9.9	0.08
2023年9月	24.3~26.6	7.2~7.9	6.1~7.8	1~22	0.8~4.1	5.1~17.9	0.03~0.18
冬季	22.8	7.2	7.7	2	1.2	7.8	0.07
2024年1月	21.0~24.0	6.6~7.8	6.0~8.9	1~6	0.5~1.9	5.4~12.4	0.03~0.15

4. まとめ

琉球石灰岩帯水層の水理地質特性に適した地下水採水による水質モニタリングを行うことが重要であり、地下ダム流域の環境保全に留意しつつ、地下ダムの持続可能な灌漑用水の利用を通じて、農業農村振興に貢献することが期待される。