

沖縄本島南部地域における地下水流動場に関する考察

Study of groundwater flow with example from Ryukyu limestone aquifer in southern part of Okinawa, Japan

○安元 純*, 花岡郁美*, 中野拓治*

Jun YASUMOTO, Ikumi HANAOKA, Takuji Nakano

1. はじめに

IPCC の 4 次報告書によると、南西諸島のような島嶼部では利用可能な土地と資源が限られ気候変動に伴う脆弱性がきわめて高いとされており、今後、安定的に供給可能な水資源となる地下水の持続的な利用・開発が極めて重要である。一方、地下ダムは島嶼部を始めとした多くの地域で水資源を確保する有効な手段として注目を集めており、わが国においても、南西諸島の琉球石灰岩地域に施工例がみられる。沖縄本島南部地域においても地下ダム（米須・慶座地下ダム）が築造されており、農業用水として地下水が活用されている。このような状況を踏まえ、沖縄本島南部地域を対象として、地下ダム築造前の現地観測データを基に地下水流動モデルとパラメーター推定手法を用いて、地下水流動場を把握することを試みたのでその概要を報告する。

2. 研究方法

2.1 数値解析手法

本研究では、不圧帯水層の乾燥や再湿潤過程で生じる地下水流動方程式の非線形問題を解決するために開発された地下水流動モデル MODFLOW-NWT (Newton solution scheme ; Niswonger, 2011) と、パラメーター推定手法の一つである PEST (Parameter ESTimation code) 5th Edition (Doherty, 2002) を併用し、地下ダム築造前の地下水位の観測値に基づいて、沖縄本島南部地域の透水係数の広域的な分布を推定した。

2.2 計算条件

解析対象領域は経度 127°40'9.20"E, 緯度 26°3'22.86"N を基準点とした、x 方向 10186.7m, y 方向 8879.9m の範囲で、米須地下ダム及び慶座地下ダム流域を含む範囲とした。計算グリッド間隔は x, y 方向ともに約 50m とした。地質は、帯水層となる琉球石灰岩を 1 層とした。地下水涵養量は沖縄本島南部地域の平均的な値として 0.003m/day に、貯留係数は 0.2 に設定した。なお、本解析は地下ダム築造前に実施された地下水位の一斉観測値 (1996 年 3 月) の再現を目的とした定常解析である。

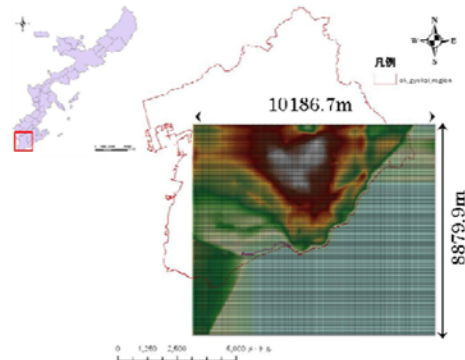


図-1 解析領域 (沖縄本島南部地域)

3. 結果及び考察

沖縄本島南部地域のように石灰岩が広く分布し、断層に伴う急峻な地形勾配や帯水層厚の急激な変化等の複雑な水理地質構造を持つカルスト地形である。このような地域では、MODFLOW2005 (Harbaugh, 2005) などの代表的な地下水流動モデルが収束しにくいことが課題の一つであった (Niswonger, 2011)。MODFLOW2005 及び MODFLOW-NWT をそれぞれ用いて、本地域の平均的な透水係数 (Kx, Kz) 30m/day を与えた数値解析を実施すると、MODFLOW2005 では、計算格子が乾燥を示す空白部分 (Dry セル) が多数出現し数値計算も収束しなかった。これに対して、MODFLOW-NWT では、図-2 に示すように、Dry セルも出現せず数値計算も安定しており、比較的妥

*琉球大学農学部地域農業工学科 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus,
キーワード: カルスト地形, MODFLOW-NWT, PEST, 地下水流動場

当な地下水位が計算されていることから、MODFLOW-NWT が沖縄本島南部地域における地下水流動解析に適用できることが確認できた。

図-3 に MODFLOW-NWT を用いて、透水係数を一定値 (30m/day) に固定した場合と、PEST により推定された透水係数を用いた場合の地下水位の計算値と観測値との比較を示す。透水係数を固定した場合の結果をみると、計算値と観測値に誤差の多いものが認められ、両者の整合性は十分とはいえない。これは石灰岩帯水層の多くはシンクホールやケープ等の空洞が多数発達しており、現場揚水試験等で求められる局所的な透水係数で帯水層を代表することが難しいためである。一方、PEST により推定された透水係数を用いて計算した地下水位は、地下水位の低い場所から高い場所にかけて計算値と観測値がよく一致 (相関係数 $r=0.998$) している。PEST より推定された透水係数の分布は、図-5 に示すように、4.2m/day~8.1 x 10⁴m/day の範囲に分布しており、430,348 種類の値に分類されている。推定された透水係数が高い西部沿岸域の米須、山城地区では、現場揚水試験により推定された透水係数がそれぞれ 30m/day、100m/day と比較的高く、ケープ等の空洞の分布も確認されており、このことは PEST による推定結果を支持している。今後、既存のボーリングデータやシンクホールやケープ等空洞の分布状況から本地域の地質構造を再整理し、PEST により推定された透水係数の分布との対応を検証する予定である。図-6 に示した計算誤差と観測値との関係をみると、地下水位が 0m に近い沿岸域では、計算誤差が 2.5~3.5 と比較的高い値で分布している。これは、沿岸域の地下水位が潮位の影響を受けて変動していることが一因として考えられるが、詳細な検討は今後の課題とする。

4. まとめ

本研究では、沖縄本島南部地域を対象として、現地観測データを基に、地下水流動モデル MODFLOW-NWT とパラメータ推定手法である PEST を用いて、地下水流動場を把握することが出来た。今後、本地域内にある地下ダム止水壁の影響をモデルに組み込み、地下ダム築造が本地域の地下水貯留量に及ぼした影響を定量的に把握すると共に、地下水への塩水侵入を防止する目的で建設された米須地下ダムの塩水化防止効果を、本モデルに物質輸送解析を加えることで 3 次的に検証する予定である。

参考文献

- Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model - the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.,
 Niswonger, R. G, et al., 2011, MODFLOW-NWT, A Newton Formulation for MODFLOW-2005: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A37.
 Doherty, J. 2002, Manual for PEST, 5th edition. Brisbane, Australia: Watermark Numerical Computing.

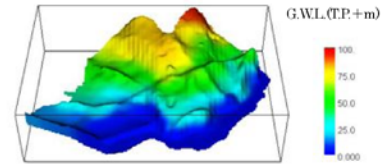


図-2 MODFLOW-NWT の計算結果

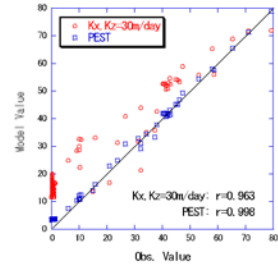


図-3 観測値と計算値との比較

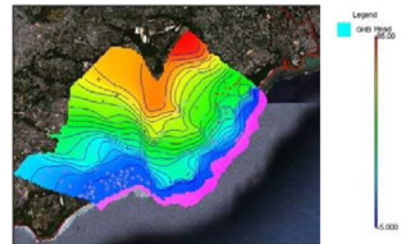


図-4 地下水位の計算結果

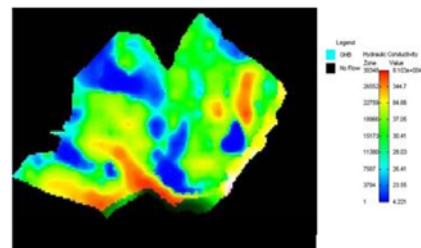


図-5 PEST より推定された透水係数の分布

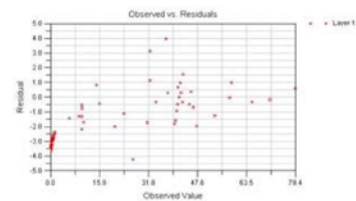


図-6 計算誤差と観測値との比較