

濃尾平野扇状地の水田地帯における地下水涵養特性

岐阜大学 学生会員 ○伊藤 廉真

岐阜大学 正会員 神谷 浩二 小島 悠揮

1. まえがき： 濃尾平野では、水資源としての地下水を持続利用するには、扇状地における河川や水田灌漑などによる地下水涵養の機能を保全することが重要である。本報告は、扇状地の水田の透水特性を分析しつつ灌漑時の地下水涵養量を評価したものである。

2. 扇状地の水田の透水性

(1) 対象地域： 対象地域は、図1に示すように、揖斐川・粕川扇状地の揖斐川右岸の範囲の地域である。図中には、後述する地下水涵養量の分布を重ね合わせて示した。扇状地では、粘性土層が介在する場合があるが、水田等の表土の下部には厚い礫質土層が構成している¹⁾。図2は、対象地域の揖斐川の堤防の基礎地盤にある礫質土の飽和透水係数(揖斐川・河川堤防の浸透に対する安全性の詳細点検結果・土質試験データ(国土交通省中部地方整備局木曾川上流河川事務所提供)を引用)の値を示したものである。透水係数はおおよそ 10^{-4} m/sのオーダーの大きさにある。

(2) 水田の透水性： 図1に併記したように、粕川の扇頂付近に位置する地点A、扇央の地点Bと地点C、扇端の地点Dの計4地点において、水田の地表から約0.2m深さの範囲にある作土層(水稻のために耕された土層)とその下部の鋤床層(層厚0.2m程度とみられる)(農業機械等の荷重によって圧縮された土層)を対象に、原位置透水試験を実施した²⁾。この試験は、水田の地表面に設置した円筒管(直径0.1mで長さが1m)に湛水して鉛直浸透させ、このときの円筒管内の水位の経時変化を測定することによって現場飽和透水係数を求めるものである³⁾。図3は、間隙比 e に対して現場飽和透水係数 k_{fs} (m/s)の値を示したものである。現場飽和透水係数はおおよそ $10^{-7} \sim 10^{-6}$ m/sのオーダーの範囲にある。図中の破線は、作土層と鋤床層のそれぞれで e と $\log_{10} k_{fs}$ の関係を直線によって近似して示したものである。いずれも e と $\log_{10} k_{fs}$ は良好な直線関係にあり、その傾きも同程度である。この直線関係に基づくと、同じ間隙比のときの鋤床層の現場飽和透水係数は作土層のもの約10倍の大きさにある。

3. 浸透流解析に基づいた水田灌漑に伴う地下水涵養量： 水田に湛水したときの水田底面からの漏水量としての地下水涵養量を推定するため、2次元の地盤モデルを作成して、水田に湛水深を境界条件として与えたときの飽和・不飽和浸透流の定常解析を実施した。解析ソルバーにはUNSAF-2Dを用いた。

(1) 地盤モデルと浸透流解析の概要： 図4に地盤モデルの概要を示すように、水田の幅が30mで作土層と鋤床層のそれぞれの厚さが0.2mであるとして、その下部と両側に礫質土層が構成し、幅510mで地表から深さ50mを解析範囲と設定した。作土層と鋤床層の側面(礫質土層との境界)は不透水境界とした。地盤パラメ

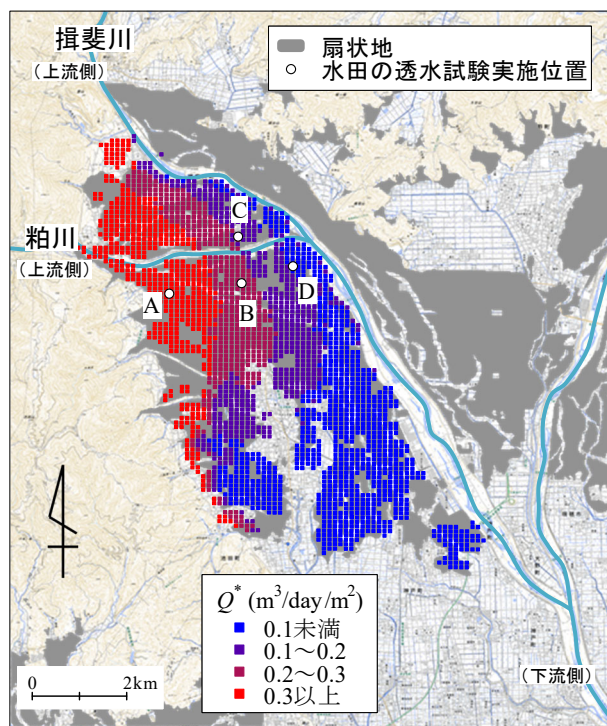


図1 対象地域

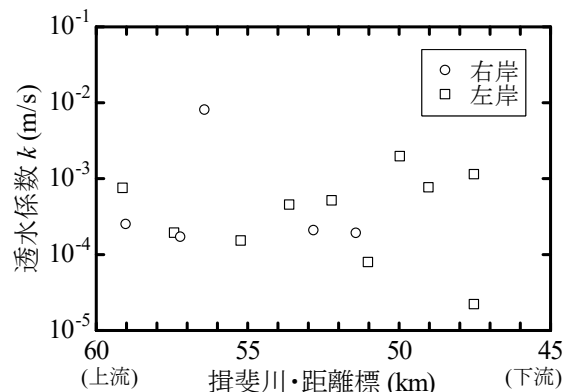


図2 揖斐川の堤防基礎地盤の透水係数

一タの飽和透水係数の値は、作土層と鋤床層では図3に示したものとし、礫質土層では、図2に示した値の平均的なものである $5 \times 10^{-4} \text{m/s}$ とした。不飽和浸透特性値(水分特性曲線, 不飽和透水係数)には、参考文献4)に例示された土の種類によるものを用いた。浸透流解析の水力境界条件には、水田の上面である地表面に湛水深としての圧力水頭(固定)の0.2mを与え、筆者らの既往調査による地下水位等高線¹⁾を参照して、地下水位には地点Aでは地表面からの深さ25mの位置、地点Bでは15m、地点Dでは5mをそれぞれ設定した。そして、浸透流の定常解析によって水田(鋤床層)底面での下向き流れでの流量の総和を求め、この値に基づき単位面積で1日あたりの地下水涵養量 Q^* ($\text{m}^3/\text{day}/\text{m}^2$)を算出した。

(2) 地下水涵養量の推定： 浸透流解析によれば、地下水涵養量 Q^* は、扇頂付近の地点Aでは $0.86 \text{m}^3/\text{day}/\text{m}^2$ 、扇央の地点Bで $0.21 \text{m}^3/\text{day}/\text{m}^2$ 、扇端の地点Dで $0.07 \text{m}^3/\text{day}/\text{m}^2$ であることが推定された。扇頂の地点Aと扇央の地点Bでの地下水涵養量が扇端の地点Dに比べると多くなり、田中ら⁵⁾が示した扇端での地下水涵養量に比べると扇頂や扇央でのものが多くなる傾向に符合する。

(3) 地下水位と地下水涵養量： 地下水涵養量には、透水係数等の浸透特性や湛水深等の水力境界条件などが影響すると考えられる。本報告では、鋤床層の透水係数を図3に示したものの平均的な値で $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ とし、作土層ではその1/10の $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ として、地下水位の位置のみを変化させたときの地下水涵養量を浸透流解析によって求めた。その結果、地下水涵養量 Q^* は地表面を基準にした地下水位 h (G.L.-m)との関係は、 $Q^* = -6.0 \times 10^{-5} h^2 - 1.8 \times 10^{-2} h - 7.4 \times 10^{-3}$ によって良好に表現された。

4. 土地利用と地下水涵養量： 図1に示した対象地域のうち、揖斐川右岸に位置する扇状地の範囲について水田の分布を用いて地下水涵養量を推定した。国土地理院・土地利用細分メッシュデータ(2016年)を用い、水田の分布と各水田の地表面高(T.P.m)を求め(但し、休耕田や荒廃地など把握できていない)、一方で、調査によって得られた地下水位の分布に基づき水田の位置での地下水位(T.P.m)を推定し、同じ位置での水田の地表面高と地下水位の値から地表面を基準にした地下水位 h (G.L.m)を算出した。そして、上述の h と Q^* の関係式を用いて単位面積あたりの各水田における地下水涵養量 Q^* を推定した。図1には、地下水涵養量の分布を重ね合わせて示した。水田は広範に分布しているが、地下水涵養量は特に粕川の扇頂辺りの右岸・左岸で多くなる傾向にある。即ち、水田による地下水涵養量の評価では、水田面積に加えて、扇頂から扇端に至る範囲での水田分布の状況を考慮することの重要性が示唆される。

5. あとがき： 本報告では、濃尾平野の扇状地を対象に、水田灌漑に伴う地下水涵養量を推定・分析して、地下水涵養量の評価では水田の面積とその分布の両者を考慮して検討する必要性などが明らかになった。今後、地下水涵養量の経年変化を分析しつつ、その機能を保全するための水田管理のあり方などに繋ぐ。

【参考文献】 1)神谷浩二, 川合厚志, 井上 裕, 小島悠揮:濃尾平野における湧水時の中小河川の地下水涵養特性, 河川技術論文集, Vol.28, pp.331-336, 2022. 2)神谷浩二, 高見一輝, 伊藤廉真, 小島悠揮:濃尾平野扇状地における水田の透水特性と地下水涵養量, Kansai Geo-Symposium 2022 論文集, pp.41-46, 2022. 3)竹下祐二, 三木愛実, 池田 結:簡易型変水位透水試験による現場飽和透水係数の原位置測定方法, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol.77, No.3, pp.314-324, 2021. 4)国土技術センター:河川堤防の構造検討の手引き(改訂版), pp.51-56, 2012. 5)田中健二, 瀬川 学, 藤原洋一, 高瀬恵次, 丸山利輔, 長野峻介:土砂崩壊に伴う高濃度濁水が手取川扇状地水田の地下水涵養機能に与える影響, 水文・水資源学会誌, Vol.30, No.3, pp.173-180, 2017.

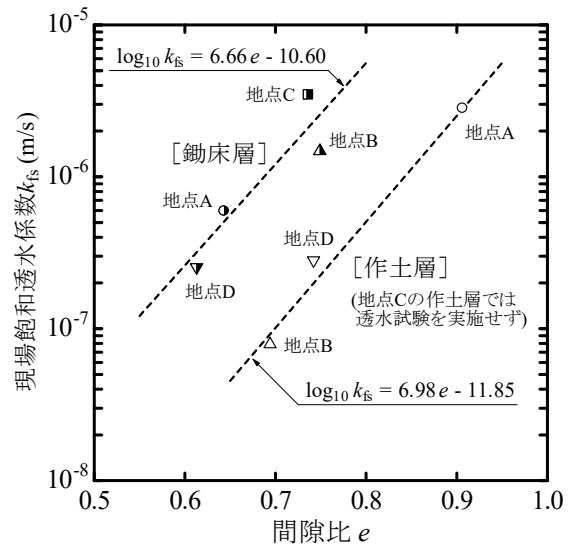


図3 水田の現場飽和透水係数

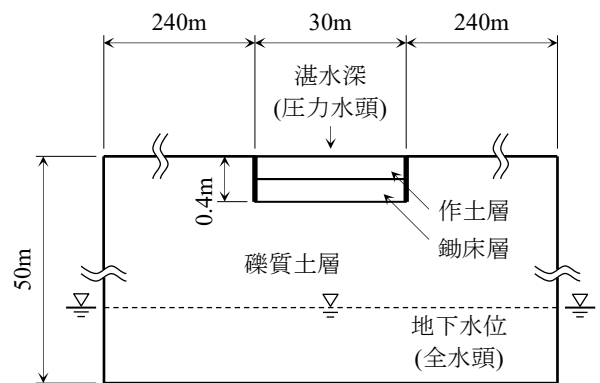


図4 浸透流解析の地盤モデルの概要