

熊本・高遊原台地の林地、畑地における浸透能と涵養量について

吉井貴紀*

市川勉**

On the Seepage Capacity and Groundwater Recharge Rate

of the Forest Area and Farmland located in KUMAMOTO・TAKAYUBARU Plateau

by

Takanori YOSII

Tsutomu ICHIKAWA

(Received: 19 OCTOBER 2009, Accepted: 22 FEBRUARY 2010)

Abstract

The KUMAMOTO area with 1 million populations and 1000km² area have much groundwater. The main recharge areas of this basin are located in the middle SHIRA River area. The recharge areas are mainly paddy field, farmland and forest. The seepage capacity and recharge rate in the paddy field are well known in previous research, and the average recharge height in the middle SHIRA River area is almost 40-45% of rainfall in the forest and farmland. But there are no reports of seepage capacity. In the previous paper, the authors report about seepage capacity by double ring method in this area.

In this paper, the authors do additional field seepage capacity tests with double ring method in farmland and estimate seepage capacity in the forest and farmland for calculation of seepage rate in this farmland. As the results, seepage capacity in the forest Area and Farmland is very high for recharge rain water to under ground. And seepage rate in this farmland was over 4 million cubic meters in 2008. This seepage rate is almost 88% of rainfall.

Key Word: Seepage Capacity, Forest area, Farmland

1. まえがき

熊本地域は 100 万人に及ぶ住民の生活用水の 100%を地下水で賄うわが国最大の地下水利用地域である。熊本地域の地下水は生活用水としてだけでなく、半導体やフィルム、清涼飲料水などの工業用水として注目され、使用されている。しかし、地下水量は継続的な減少傾向が続いてきた¹⁾。これまでは生活用水や工業用水の使いすぎが原因だと思われていたが、地表面に高い透水性を持つ有機質火山灰土(赤ボク、黒ボク)を有する阿蘇西側の山麓か

ら大津・菊陽地域(白川中流域)にある広大な水田地域における地下水涵養量が減反や都市化などの影響を受け減少したことが原因であると考えられるようになった²⁾。これを受けて 2004 年から、熊本市は減反田における湛水事業を実施することで地下水増強対策に乗り出した。その後の江津湖・嘉島の湧水量を見る限りではその効果が湧水量の増加として表れていると考えられる³⁾。しかし、主要涵養域である白川中流域の減反率は増え続けているため、湛水田が増加しても涵養量の大幅な増加は見込めていない⁴⁾。白川中流域には森林や畑地も多く存在する

*東海大学大学院産業工学研究科社会開発工学専攻院生

**東海大学工学部環境保全学科教授

ため地下水涵養には降雨による浸透も大きく関わっていると思われる。熊本県・市が三次に渡って行なった準三次元地下水流動解析において評価された浸透性の高遊原台地部林地・畑地における地下水涵養高は、第二次調査では、765mm/年、第三次調査では827mm/年にのぼる。しかし、これは流動解析により求め評価された平均的値であり、浸透能が高いと考えられる空港周辺の林地や畑地における浸透能の現地調査は行なわれていない^{5) 6) 7)}。

その後、著者らは、白川中流域にある高い浸透能を持つ高遊原台地に林地や畑地が多く存在していることに着目し、その浸透能の現地調査を実施し、評価を行ってきたが、調査地点が少なく、涵養量の算出まで至っていなかった⁸⁾。本報では、調査地点をさらに増やし各調査地点の浸透能を示し、調査地域の面積を計測することにより涵養量を算出し、評価を行った。

2. 調査地点

熊本地域の地下水を生成する白川中流域の中でも浸透能が高い高遊原台地にある阿蘇熊本空港の北と西の林地、北側の畑地で浸透能試験を行なった。

現地を踏査し、調査地点を決め、表土の状況を見てその地点の浸透能が平均的であろうと推定される場所を設定し、浸透能試験を行った。調査地点はFig.2-1のNo.1～9(林地)とFig.2-2のNo.1～27(畑地)の合計34地点である。

3. 浸透能の試験方法

地表面の浸透能は、地面に塩ビ管を打ち込み水を入れ、水が地面に浸透する高さの変化を計測すること(減水深法)によって求める。これによって単位時間当たりの浸透高さを計測する。測定にはFig.3-1に示す側方浸透の影響が少ないダブルリング法⁹⁾を用いた。また、kostiakovの式¹⁰⁾により十分時間経過した時点(一週間程度)での値を最終浸透能とした。

4. 各地点の浸透能と考察

最終浸透能の結果をTable4-1、4-2にまとめた。Table4-1に示すように、最終浸透能は観測点によって異なる。これは土壌を構成する要素が違うためである。Table4-1に示した各調査地点の条件と調査結果から以下のような傾向が考えられる。

浸透能の大きいNo.1、2、4、7の共通要素は、広葉樹林であり落葉が多く堆積していることである。

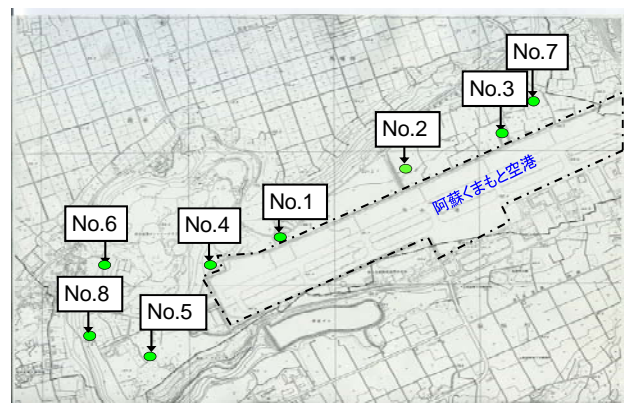


Fig.2-1 高遊原台地・林地

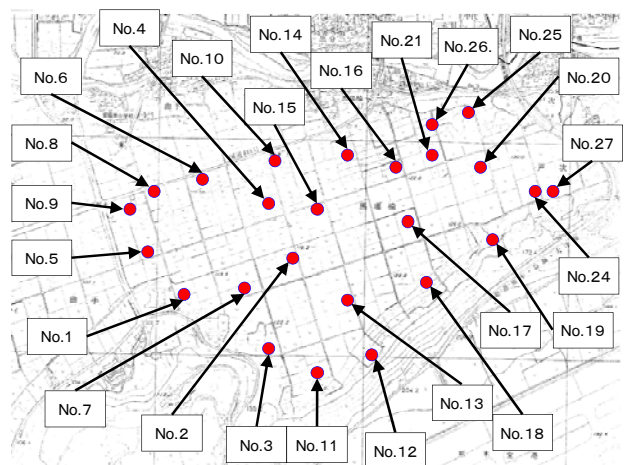


Fig.2-2 高遊原台地・畑地

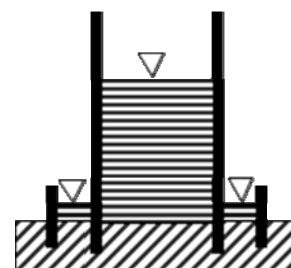


Fig.3-1 ダブルリング法

広葉樹は根が深く側方へも伸びる特性があることから、根をつたって水が浸透しやすくなるため、土壌中に間隙が生じやすいため、浸透能が大きくなる。また、これらの事に加え落葉が多く堆積していくため、間隙の大きい腐葉土が多く生成されることも浸透能を大きくする要因になると思われる。

浸透能が比較的小さい No. 3, 6 の共通要素は針葉樹林であった。針葉樹は樹齢も若い**ため**根が浅く、落葉も比較的少ないので浸透能が小さいと思われる。

No. 5, 8 は広葉樹ではないが浸透能が大きい。No. 5 は疎らな広葉樹林であり畑に隣接しているため浸透能はさほど大きくないことが予想されたが浸透能は大きくなっている。No. 8 は針葉樹であり、上記から浸透能が低いことが予想されるが、浸透能が大きくなっている。考えられる共通要因は林の足元に樹高 50 センチあたりまでの笹が繁茂していたことがあげられる。これは竹の細い根が浅い地中に高い密度で張り巡らされているからである。地中に根があると、浸透した水が根に沿って浸透していくためである。No. 9 は駐車場に隣接し土壌が切り取られており、そのため乾燥で枯れた植物が多く見られ、また土壌が硬くなっていたため浸透能が小さくなったと思われる。

この結果から、林地での降雨は蒸発散以外ほぼ全て浸透し流出しないと考えられる。

Table4-2 は畑地での試験データであるが、林地と同様に条件が異なっているため浸透能の値は異なっている。畑地も同様に試験地の地表の状況を考慮して考察した。畑地での条件として耕起の有無、土壌の種類、作物の種類、調査地点の位置があげられる。

まず、耕起の有無、土の種類（赤ボク・黒ボク）の関係から見てみると赤ボクの畑地では耕起が行なわれると浸透能が大きくなる傾向がある。黒ボクも浸透能が大きい地点は耕起が行なわれているが、耕起が行なわれている畑地でも浸透能が小さい地点も存在し、黒ボクの調査地点では耕起が行なわれると浸透能が大きくなるとは一概に言えない。

耕起が行なわれた畑地での赤ボクと黒ボクの浸透

能の差を見ると赤ボクの浸透能が大きくなっている。耕起されていない畑地ではその傾向は見られない。

作物の種類で見てみると、作物の作付け前や収穫後など最近耕起が行なわれた畑地で浸透能が大きく、茶畑やタバコ畑など耕起が行なわれていない畑地では浸透能が小さい傾向がある。

Fig.4-1 は実験で求めた最終浸透能を基に一部の畑地の浸透能を等高線で表したものである。Fig.4-1 において畑地の位置による影響を見てみると林地に

Table4-1 林地の浸透能試験結果(mm/hour)

計測地点	最終浸透能	条件
No. 1	78.0	広葉樹
No. 2	136.3	広葉樹
No. 3	81.2	針葉樹
No. 4	129.6	広葉樹
No. 5	124.6	笹
No. 6	51.4	針葉樹
No. 7	253.6	広葉樹
No. 8	171.5	笹
No. 9	22.5	開発地

Table4-2 畑地の浸透能力試験結果(mm/hour)

観測地点	最終浸透能	土	耕起	作物
No.1	14.4	黒	あり	ニンジン
No.2	75.6	赤	なし	苗畑
No.3	45.0	黒	あり	作物なし
No.4	17.1	黒	なし	苗畑
No.5	14.4	黒	なし	苗畑
No.6	21.6	黒	あり	麦
No.7	7.2	黒	なし	茶畑
No.8	252.0	赤	あり	とうもろこし
No.9	82.4	赤	あり	ニンジン
No.10	43.2	黒	なし	ニンジン
No.11	7.2	黒	あり	ニンジン
No.12	107.9	黒	あり	なし
No.13	80.7	黒	あり	サトイモ
No.14	49.5	黒	あり	ニンジン
No.15	9.5	黒	あり	なし
No.16	12.9	赤	なし	タバコ
No.17	181.2	黒	あり	苗畑
No.18	78.0	黒	あり	なし
No.19	87.2	赤	あり	なし
No.20	30.9	黒	あり	なし
No.21	39.2	赤	なし	タバコ
No.24	25.5	黒	なし	ウメ
No.25	1.7	黒	なし	苗畑
No.26	6.1	黒	あり	なし
No.27	1.2	黒	あり	サトイモ

近い斜面で浸透能が大きく、その下の位置にある畑地で小さくなっている。これは林地側に比べ浸透能が低い畑地の地域では他の地域から土壌を持ってきている場所が多いためであると考えられる。

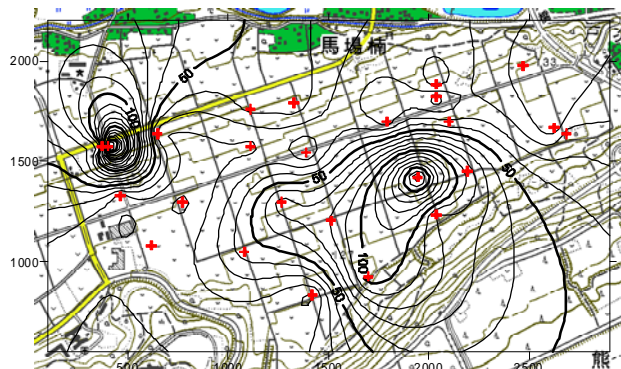


Fig.4-1 畑地の浸透能分布図

5. 涵養高と涵養率

最終浸透能と、試験地から 1km 北の位置に設置した雨量計で観測した 2008 年の雨量（5 分毎に観測）と益城の日平均気温データから Thornthwaite 法¹¹⁾による可能蒸発散高を考慮し、林地・畑地それぞれについて涵養高を評価する。Thornthwaite 法による蒸発散量は以下の式から計算される。

$$Et_i = 1.6 \left(\frac{10t_i}{I} \right)^a \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1.514} \quad (2)$$

$$a = 0.000000675 \times I^3 - 0.0000771 \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49236 \quad (3)$$

Et_i : 各月の可能蒸発散量 (cm/month)

t_i : 各月の平均気温 (°C)

I : 熱指数

式(1)で計算した蒸発散量に緯度による補正を行い、Table5-1 に示した。

この蒸発散量と観測した雨量と各地点の浸透能から各地点の一日毎の涵養高を計算し、各調査地点の一年間の総量を Table5-2、5-3 に示した。

これらの表から、林地の全ての調査地点で可能蒸発散高を除く全ての降雨を地下に浸透させることができるが、畑地では浸透能が小さいため浸透すること

Table5-1 蒸発散量 (2008 年)

月	Eti(mm/day)	月	Eti(mm/day)
1	0.27	7	5.57
2	0.14	8	4.99
3	0.82	9	3.89
4	1.68	10	2.33
5	2.91	11	0.95
6	3.82	12	0.36

Table5-2 林地の流出・涵養高 (単位: mm/年)

	雨量	有効降雨	流出高	涵養高
No. 1	2,500	2,221	0	2,221
No. 2	2,500	2,221	0	2,221
No. 3	2,500	2,221	0	2,221
No. 4	2,500	2,221	0	2,221
No. 5	2,500	2,221	0	2,221
No. 6	2,500	2,221	0	2,221
No. 7	2,500	2,221	0	2,221
No. 8	2,500	2,221	0	2,221
No. 9	2,500	2,221	0	2,221

Table5-3 畑地の流出・涵養高 (単位: mm/年)

	雨量	有効降雨	流出高	涵養高
No.1	2,500	2,221	0	2,221
No.2	2,500	2,221	0	2,221
No.3	2,500	2,221	0	2,221
No.4	2,500	2,221	0	2,221
No.5	2,500	2,221	0	2,221
No.6	2,500	2,221	0	2,221
No.7	2,500	2,221	0	2,221
No.8	2,500	2,221	0	2,221
No.9	2,500	2,221	0	2,221
No.10	2,500	2,221	0	2,221
No.11	2,500	2,221	0	2,221
No.12	2,500	2,221	0	2,221
No.13	2,500	2,221	0	2,221
No.14	2,500	2,221	0	2,221
No.15	2,500	2,221	0	2,221
No.16	2,500	2,221	0	2,221
No.17	2,500	2,221	0	2,221
No.18	2,500	2,221	0	2,221
No.19	2,500	2,221	0	2,221
No.20	2,500	2,221	0	2,221
No.21	2,500	2,221	0	2,221
No.24	2,500	2,221	0	2,221
No.25	2,500	2,221	479	1,741
No.26	2,500	2,221	0	2,221
No.27	2,500	2,221	776	1,445

ができず表面流出している場所があることがわかる。しかし、それは全体のほんの一部の調査地点であり、他の場所は全て浸透させることができるので一帯の畑地の浸透能は大きいといえる。

降雨量に対する涵養高の比率を涵養率とし、林地9を除く全ての調査地点の涵養率をTable.6-1に示した。ほとんどの場所で蒸発散以外の降雨を全て浸透させることができるので涵養率の平均は87.8%と高くなっている。

Table5-1 涵養率

	涵養率		涵養率
林地1	88.8%	畑地11	88.8%
林地2	88.8%	畑地12	88.8%
林地3	88.8%	畑地13	88.8%
林地4	88.8%	畑地14	88.8%
林地5	88.8%	畑地15	88.8%
林地6	88.8%	畑地16	88.8%
林地7	88.8%	畑地17	88.8%
林地8	88.8%	畑地18	88.8%
畑地1	88.8%	畑地19	88.8%
畑地2	88.8%	畑地20	88.8%
畑地3	88.8%	畑地21	88.8%
畑地4	88.8%	畑地24	88.8%
畑地5	88.8%	畑地25	69.7%
畑地6	88.8%	畑地26	88.8%
畑地7	88.8%	畑地27	57.8%
畑地8	88.8%	平均(林地)	88.8%
畑地9	88.8%	平均(畑地)	86.8%
畑地10	88.8%	平均	87.8%

6. 畑地における年間涵養量

畑の面積と涵養高から各調査地点の年間の涵養量を算出しTable.7-1に示した。また、Fig.4-1の等高線図から推定した一帯の面積と浸透能から、年間涵養量を算出しTable.7-2に示した。平均涵養高(年間合計涵養量/合計面積)も2.0m/yearをこえており熊本県と熊本市による熊本地域地下水保全対策調査報告書などにおける0.7m/yearの約三倍に当たり、一帯の畑地の涵養高は非常に高いといえる。

7. まとめ

熊本地域の主要地下水涵養域である白川中流域浸透性台地部の林地、畑地における現地浸透能試験を

Table.6-1 畑地の年間涵養量

	面積 (m ²)	年間涵養量 (m ³ /year)
畑地1	4,140	9,194
畑地2	4,680	10,393
畑地3	720	1,599
畑地4	2,318	5,147
畑地5	850	1,887
畑地6	2,236	4,966
畑地7	2,079	4,617
畑地8	1,683	3,737
畑地9	425	944
畑地10	1,825	4,053
畑地11	3,015	6,695
畑地12	567	1,259
畑地13	1,395	3,098
畑地14	2,525	5,606
畑地15	4,901	10,882
畑地16	1,591	3,534
畑地17	4,608	10,233
畑地18	1,368	3,038
畑地19	3,060	6,795
畑地20	882	1,959
畑地21	3,591	7,975
畑地24	1,766	3,921
畑地25	5,049	8,792
畑地26	1,089	2,418
畑地27	3,564	5,150
合計	59,927	127,891
平均涵養高(m/year)		2.134

Table.6-2 調査地一帯の浸透能と年間涵養量の関係

浸透能 (mm/hour)	年間降雨量 (mm/year)	涵養高 (m/year)	面積 (m ²)	涵養量 (m ³ /year)
5	2,500	2.187	79,200	173,234
15	2,500	2.221	383,200	850,954
25	2,500	2.221	351,200	779,894
35	2,500	2.221	288,600	640,881
45	2,500	2.221	182,400	405,047
55	2,500	2.221	96,700	214,737
65	2,500	2.221	83,400	185,203
75	2,500	2.221	100,800	223,842
85	2,500	2.221	64,600	143,454
95	2,500	2.221	61,200	135,904
105	2,500	2.221	72,500	160,997
115	2,500	2.221	19,400	43,081
125	2,500	2.221	14,000	31,089
135	2,500	2.221	6,000	13,324
145	2,500	2.221	4,700	10,437
155	2,500	2.221	6,100	13,546
165	2,500	2.221	2,500	5,552
175	2,500	2.221	1,800	3,997
185	2,500	2.221	900	1,999
195	2,500	2.221	1,000	2,221
205	2,500	2.221	200	444
215	2,500	2.221	1,000	2,221
合計			1,821,400	4,042,057
平均涵養高(m/year)				2.219

実施した結果、以下の結論を得た。

- 1) 高遊原台地の林地には、降雨量を大きく上回る浸透能があることがわかった。そのため地下水涵養に関しても大きく貢献していると考えられる。また高遊原台地部の林地周辺には排水溝がほとんどなかった。これは表面流出が発生しない事を裏づけている。
- 2) いくつかの畑地では表面流出が発生しているが、極一部に限られており、また平均涵養高は2mを超えており一帯の畑地は浸透能が全般的に高いといえる。
- 3) 一帯の畑地では涵養率 87%に上り、年間 $4042057\text{m}^3/\text{year}$ もの地下水を涵養していると考えられ、地下水涵養に大きく貢献していると考えられる。

本研究は、独立行政法人日本学術振興会、「科学研究費補助金、一般研究C、課題番号 18560537；水循環型営農活動による地下水涵養の効果評価」を受けて行なった。

参考文献

- 1) 熊本県・熊本市；熊本地域地下水総合調査報告書（平成6年度）、pp.2-11. 1995
- 2) 熊本県水資源総合計画、2002
- 3) 今辻銀二、市川勉；熊本江津湖における湧水量、地下水位の変化について、九州東海大学紀要工学部、第34号、pp,9-17, 2007.
- 4) 武森雄志、市川勉；白川中流域農地における湛水による地下水涵養について、九州東海大学紀要工学部、第34号、pp, 1-8, 2007.
- 5) 熊本県・熊本市；熊本地域地下水報告書、昭和61年3月, 1986
- 6) 熊本県・熊本市；平成6年度熊本地域地下水報告書、平成7年3月, p. 59. 1995
- 7) 熊本県・熊本市；熊本地域地下水保全対策調査報告書（平成17年度）, p. 39. 2005
- 8) 吉井貴紀、市川勉；熊本地下水涵養域の林地・畑地における浸透能について、東海大学紀要産業工学部、2008
- 9) 中野政詩、宮崎毅、塩沢昌、西村拓；土壌物理環境測定法、東京大学出版会、p 103
- 10) 雨水浸透・地下水涵養 日本地下水学会編、p 40、2001.
- 11) 金丸昭治、高棹琢馬著；朝倉土木工学講座4、水文学、朝倉書店、p 98、1975.