

武蔵野台地の湧泉の水循環解析と流域管理

Analysis of Hydrological Cycle of Spring in the Musasino Upland and Its Management

安藤義久*、藤村和正**、荒井竜司***

By Yoshihisa ANDO, Kazumasa FUJIMURA and Ryuji ARAI

Hydrological cycle of the Kokubunji experimental basin in the Musasino upland was studied at the spring in the Kokubunji-manyo garden in relation to the applicability of the hourly concentrated hydrological model and the basin management by means of the houses infiltration facilities. The hydrological model can also be considered the surface infiltration capacity of the pervious area. The analyses were carried out for two years hydrological data in 1992 and 1993, in which the sewer system had been expanded and the inverting wells became scarcely used.

The results indicated that the model generally reproduced observed runoff hydrographs, and the model applicability was confirmed. We also predicted the simulated hydrographs of which the assumption that the houses infiltration facilities were introduced, using the above hydrological model. It is found that the houses infiltration facilities are important for managing a basin in respect of the springs conservation.

Keywords : upland basin, hydrological model, springs conservation, houses infiltration facilities

1. はじめに

武蔵野台地の国分寺万葉園の湧泉を対象とした国分寺試験流域の水循環機構の研究は、当初、安藤・高橋・田口¹⁾により流域を分割した地下水流動を含む地下水流出解析が行われた。その後、安藤・長畑²⁾は地下水流動を含む水循環モデルを作成し解析を行い適合性を得ている。安藤・宮田・小宮³⁾は、その後、集中型の水循環モデルを提供し解析を行い、モデルの適用性を示している。これらのモデルはいずれも日単位で計算するものである。1983年のデータを用いた当初の研究から10年以上が経過し、当流域は不浸透域が拡大し、公共下水道がほぼ完全普及し、吸い込み井戸が使用されなくなるなど、都市化の影響を大きく受けている。都市化に伴い流域の水環境が失われつつあるが、そのような中で、東京都と国分寺市は湧泉保全のために各家屋に対して雨水浸透枡の設置を推進している。しかし、現在のところ設置状況は一部に留まっている。

本研究では、このような水文環境が大きく変化した国分寺試験流域を対象として、地表面の浸透能を考慮し、時間的な降雨の分布性を考慮するため1時間単位で計算する集中型の水循環モデルで1992年と1993年の2年間のデータを用いて解析を行い、モデルの適合性について検討する。さらに、今後、雨水浸透枡の設置数を増加させた場合の湧泉への影響について本モデルによりシミュレーションを行い、その有効性について検討し湧泉保全のための流域管理を提言する。

*	正会員	工博	東京都立大学教授	工学部土木工学科 (〒192-03	東京都八王子市南大沢1-1)
**	正会員		東京都立大学助手	工学部土木工学科 (〒192-03	東京都八王子市南大沢1-1)
***			栃木県大田原土木事務所	(〒324	栃木県大田原市柴塚2-2564-1)

2. 国分寺試験流域の概要

国分寺試験流域は、武蔵野台地の南縁部に位置し、立川面との段丘差で形成された国分寺崖線から流出する野川源流の湧泉群の一つである国分寺万葉園内の湧泉を対象とする流域で、流域面積は41haである。図-1に流域の概要図を示す。

本流域の地質構造は、ボーリング調査による図-2に示す地質柱状図が得られており、表土は厚さ1m程でその下に7~10mの関東ローム層、次に、5m程の不圧地下水帯水層である武蔵野礫層、さらにその下に、2m程の固結粘土層と砂岩の連光寺互層が続いている。本流域は古多摩川の旧河道が埋没してできた地下谷の一部であると推定され、地下水は武蔵野礫層をほぼ地表面勾配と平行して西から東へ流動し湧泉地点で流出していると考えられる。

本流域の土地利用は、12.5mのメッシュを引いた1/2500の地形図から読み取り、また、現地における雨樋の流出先のサンプリング調査から得られ、浸透域は緑地、グラウンド、庭へ出ている雨樋の屋根とみなし、その面積率は51%である。それ以外の道路、駐車場、下水管に直結している屋根などは不浸透域とみなし、その面積率は49%である。約10年間の都市化による主な変化は、不浸透域の拡大と公共下水道の普及に伴う吸い込み井戸による人工涵養量の減少である。吸い込み井戸は1983年には流域内西部の内藤地区においてほとんどの家で使用されており、地下水涵養量は113m³/日であった。しかし、1994年には下水道がほぼ完全普及し、地下水涵養量は6m³/日までに減少している。これらの数値を表-1に示し、後の水循環解析で用いる。

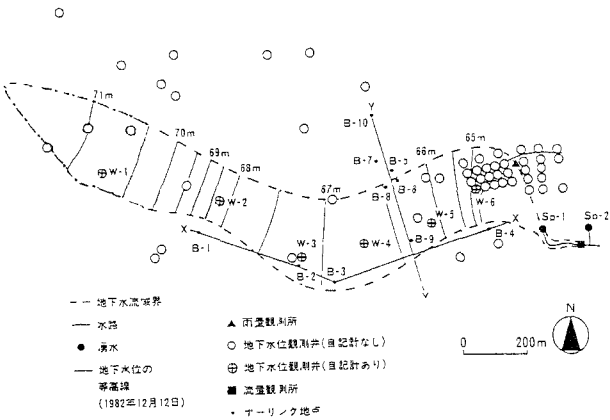


図-1 国分寺試験流域の概要

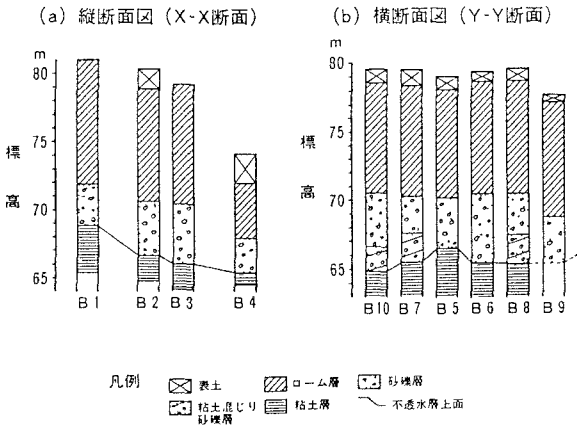


図-2 地質柱状図

表-1 都市化による国分寺試験流域の変化

	1983年	1994年
不浸透域面積率	26%	49%
舗装面	11%	30%
屋根下水管	15%	19%
浸透域面積率	74%	51%
緑地・グラウンド等	63%	45%
屋根庭先	11%	6%
人工涵養量	113m ³ /日	6m ³ /日

3. 水循環モデルと国分寺試験流域への適用

3.1 水循環モデル

水循環モデルの基本構造は、直接流出モデル、浸透・地下水涵養モデル、地下水流モデルを組合わせたものであり、図-3にその水循環モデルのフローを示す。

直接流出D'は、河道付近の不浸透域と飽和域を生起領域として、一定量L未満の降雨は損失とし、損失量以上の降雨は、損失量をひいた値が流出すると考える。また、浸透域においても表層浸透能Rを越える降

雨については直接流出が起こるが、それは下水道へ流入し湧水の流出には寄与しないものとする。

地下水涵養に関しては、安藤・虫明・高橋⁴⁾が考案したタンクモデルを用いる。地下への浸透量 I は、降雨に浸透域面積率をかけ、時間雨量が表層浸透能 R を越えない時は全量浸透し、表層浸透能を越えた時は、浸透能相当分のみが浸透すると考える。浸透量 I を時刻 $t-1$ における表層水分保留量 M_s にたし、さらに蒸発散量 E をひいて時刻 t における M_s' を求める。この M_s' が最小容水量 M_n より小さい時は地下水涵養は行われず、 M_n より大きい時には、その超過保留量 ($M_s' - M_n$) に比例定数 β を乗じたものが地下水涵養量 G となる。超過保留量 ($M_s' - M_n$) がある一定量 h を越えるときには地下水涵養能 g で涵養されるとする。また、 M_s' から G を引いたものが次の時刻 $t+1$ で用いる M_s となる。

地下水流出量 Q_g は、地下水貯留量 S_g の二乗に比例し、不圧減水定数 A_u を用いて次式で表される。

$$Q_g = A_u^2 \cdot S_g^2$$

また、 S_g に地下水涵養量 G と吸い込み井戸による人工涵養量 F をたし、さらに、地下水流出量 Q_g をひいたものが、次の時刻における地下水貯留量 S_g となる。

蒸発散量については、Hamon式から求めた日蒸発散量に、多摩ニュータウンの永山試験流域においてウーダイユ式自記蒸発計により得た観測値から求めた1日の蒸発量の24時間の割合(重み)をかけ、また、1から舗装面積率と屋根面積率を引いた値である蒸発散面積率をかけて、24時間に配分した。

3. 2 国分寺試験流域への適用

本モデルにより1992年および1993年の2年間のデータで国分寺試験流域の水循環解析を行う。時間雨量と日平均気温は気象庁府中観測所のデータを用いる。国分寺万葉園の湧水の実測流量は、毎月1回の重量法により観測したデータを用いる。モデルの適用にあたって、表層浸透能は、同じ関東ロームの豊島台地の谷端川上流域において安藤・鈴木・梶谷・尾崎・林⁵⁾が散水型浸透計を用いて測定した値の民家の間地の平均値を用い、10mm/hrとする。その他のパラメータ、最小容水量、地下水涵養量の比例定数、地下水涵養能、超過保留量の一定値は、安藤・虫明・高橋⁴⁾が関東ロームの丘陵地の都市流域の永山試験流域で求めた値を用いる。そして、各パラメータを表-2に示す。

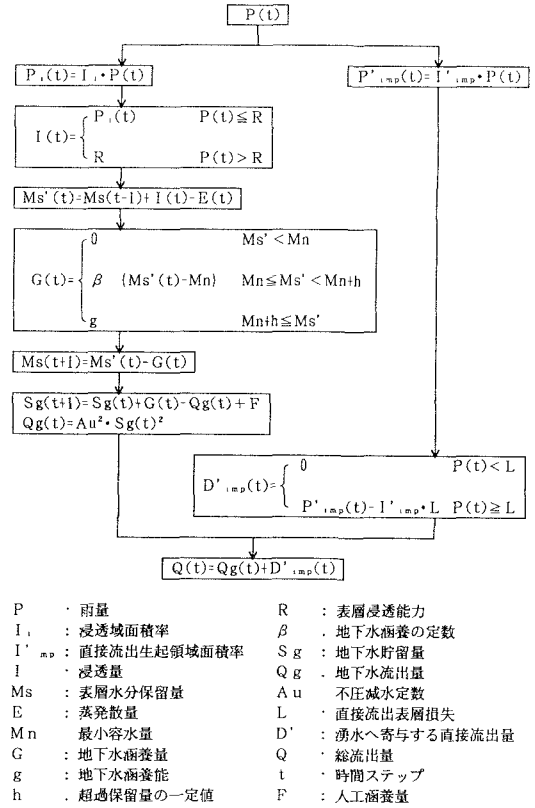


図-3 水循環モデルのフロー

表-2 各パラメータの値

表層浸透能	R (mm/h)	10
最小容水量	M_n (mm)	200
地下水涵養の比例定数	β	0.1
地下水涵養能	g (mm/h)	0.5
超過保留量の一定値	h (mm)	5
不圧減水定数	A_u	0.016
蒸発散面積率	α	0.45
直接流出の生起領域	A_d (m ²)	4123
直接流出表層損失	L (mm)	2

3. 3 適用結果と考察

解析にあたってのモデルの初期値として、水分保留量、地下水貯留量さらに不圧減水定数を与え計算を行い、十分な再現性を持つまで繰り返した。不圧減水定数の値は、本来なら同流域で水循環解析を行った安藤・宮田・小宮³⁾の用いた値0.01を用いるべきであるが、本研究では再現性を得るために少し変化させ0.016として与えた。解析結果を実測流量と計算流量から次式に示す相対誤差および相対誤差平均について求め検討する。

相対誤差

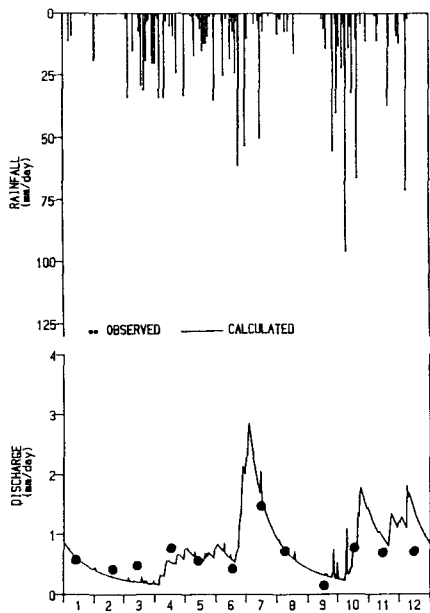
$$E = \frac{Q_{cal} - Q_{obs}}{Q_{obs}}$$

相対誤差平均

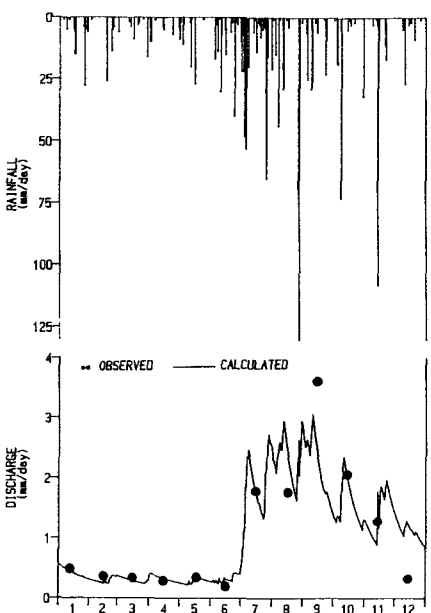
$$RE = \frac{1}{N} \sum \frac{|Q_{cal} - Q_{obs}|}{Q_{obs}}$$

ここに、Q_{obs}:実測流量、Q_{cal}:計算流量、N:実測数

解析結果は、1992年と1993年の実測流量および計算ハイドログラフを図－4と図－5に示し、また、表－3と表－4には相対誤差および相対誤差平均の値を示す。1992年の9月に相対誤差が大きく現れているが、



図－4 1992年水循環解析結果



図－5 1993年水循環解析結果

表－3 1992年の実測値と計算値の相対誤差と相対誤差平均

1992年	1/14	2/17	3/16	4/15	5/14	6/16	7/15	8/10	9/16	10/15	11/15	12/15
実測値Q _{obs} (mm/day)	0.58	0.43	0.47	0.78	0.57	0.45	1.45	0.71	0.15	0.76	0.72	0.72
計算値Q _{cal} (mm/day)	0.60	0.30	0.20	0.54	0.58	0.58	2.05	0.70	0.32	0.80	0.91	1.40
相対誤差E(%)	2.9	-29.8	-57.6	-31.0	0.4	28.7	41.6	-1.2	114.6	5.7	26.4	95.3
相対誤差平均RE(%)	36.3											

表－4 1993年の実測値と計算値の相対誤差と相対誤差平均

1993年	1/12	2/16	3/15	4/15	5/17	6/15	7/15	8/17	9/16	10/15	11/15	12/15
実測値Q _{obs} (mm/day)	0.49	0.39	0.33	0.30	0.35	0.17	1.80	1.80	3.62	2.07	1.28	0.33
計算値Q _{cal} (mm/day)	0.44	0.38	0.29	0.33	0.36	0.32	1.86	2.34	2.27	1.94	1.52	1.18
相対誤差E(%)	-10.3	-1.5	-11.6	8.6	2.8	86.1	3.4	30.0	-37.1	-6.2	18.7	261.7
相対誤差平均RE(%)	39.8											

湧水量が少なく実測と計算の流量差は大きくない。1992年12月および1993年12月にも相対誤差は大きな値を示しているが、本モデルは解析期間の後部の降雨に対して適合が難しいようである。これらの影響から、兩年の相対誤差平均は36.3%と39.8%と大きな値となっている。しかし、実測流量と計算ハイドログラフを比較して見ると傾向は一致していると言え、妥当な解析結果であり、上記の水循環モデルの適合性は確認できたと言える。

4. 雨水浸透枡導入による流域管理

4.1 シミュレーションの方法

本流域には湧泉保全のため、東京都、国分寺市により雨水浸透枡の設置導入が進められている。1993年10月の時点で102宅202基がされているが、流域面積に占める割合は約1%である。本稿では、今後、さらに雨水浸透枡の設置が進んだ場合を仮定して、前述の水循環モデルで湧水量の復元を予測するシミュレーションを行う。安藤・鍋山⁶⁾は国分寺試験流域の雨樋調査を行い、1基の雨水浸透枡の集水面積を18m²としている。下水管へ直結している屋根面積率は表-1より19%であるから、雨水浸透枡の最大設置可能数は4424基と算出される。従って、シミュレーションでは雨水浸透枡の設置数と湧水量増加との対応関係を見るため、雨水浸透枡を1000基、2000基、3000基、さらに設置最大可能数の4424基に増やした場合について1992年と1993年のデータで水循環解析を行う。前述した水循環モデルでの取り扱い、次式のように、新たに雨水浸透枡の導入によってできる浸透域面積率 I_r をこれまでの浸透域面積率 I_i と分離して考える。

$$I_r = \frac{Ar}{A}$$

$$Ar = a \cdot n$$

ここに、

I_r : 雨水浸透枡による浸透域面積率、 Ar : 雨水浸透枡による集水屋根面積、
 A : 流域面積、 a : 雨水浸透枡1基の集水面積、 n : 雨水浸透枡設置数

雨水浸透枡の終期浸透能は、現地の調査で得た値の42.7mm/hrを用いる。この終期浸透能を越える雨水は、

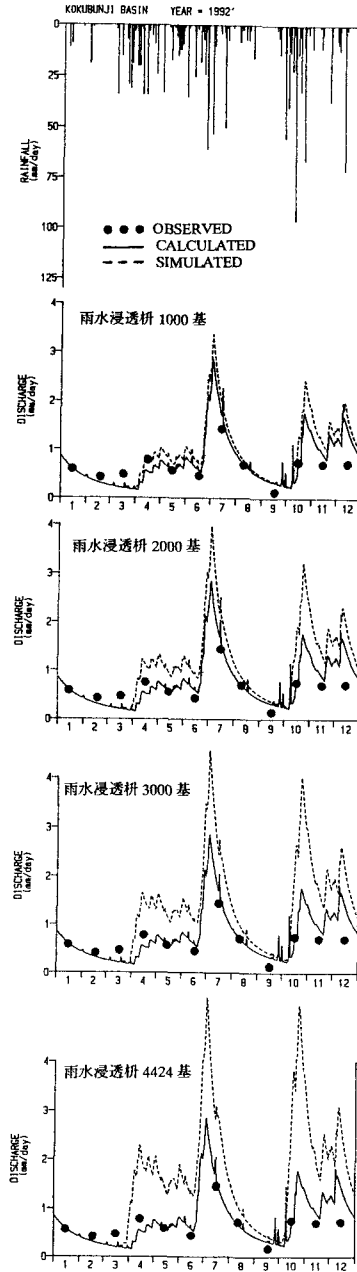


図-6 1992年シミュレーション結果

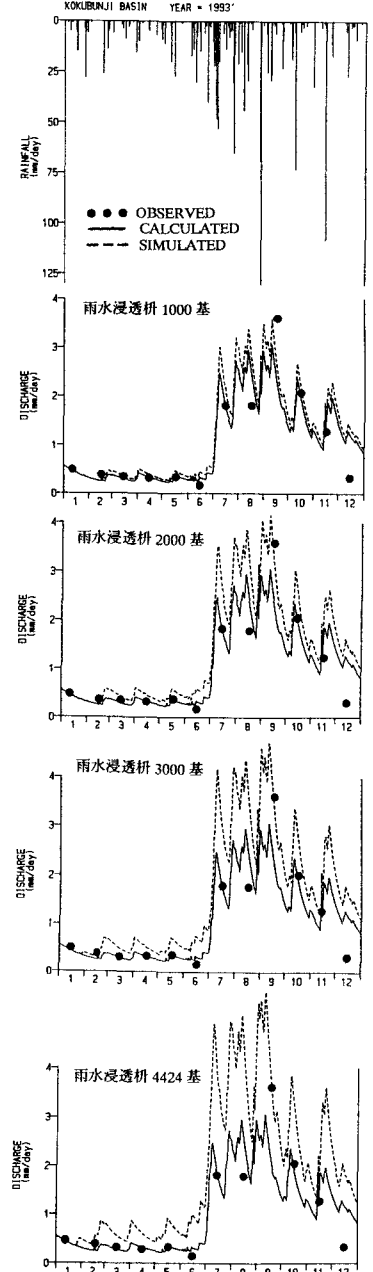


図-7 1993年シミュレーション結果

直接流出として下水管によって流域外へ流出するとみなす。

4.2 雨水浸透枡導入の有効性

シミュレーションの結果として、表－5 に総流出量の増加の割合を示す。また、1992年と1993年の降雨データで1000基、2000基、3000基、4424基導入の場合についてのハイドログラフを図－6 と図－7 に示す。これらの結果から、雨水浸透枡を1000基導入した場合でも約15%～20%の流量増加が見込まれ、2000基では約30%～40%、3000基では約50%～65%、4424基の場合は約70%以上の流量増加となることが予測できる。従って、雨水浸透枡の導入により国分寺万葉園の湧泉の保全の効果は大きいことが言え、雨水浸透枡等の雨水浸透工法が湧泉保全など流域管理に有効な手段と考えられる。

表－5 雨水浸透枡設置後の総流出量の増加の割合

雨水浸透枡設置数	1000基	2000基	3000基	4424基
（屋根面積に対する割合	22.6%	45.2%	67.8%	100%）
1992年降雨データ	19.2%	41.9%	64.8%	97.5%
1993年降雨データ	14.9%	32.5%	50.2%	75.4%

5. 結論

本研究により得られた主な成果は以下の通りである。

（1）国分寺試験流域において、安藤・宮田・小宮³⁾が提唱したモデルを改良した1時間単位の地表面の浸透能を考慮した集中型の水循環モデルが適合性を持つことが確認できた。

（2）今回の解析データは1992年と1993年のものであり、安藤・宮田・小宮³⁾の解析データに比べると不浸透域の拡大や吸い込み井戸による人工涵養量が大幅に減少するなど水文環境が変化している。本モデルはこのような水文環境の変化にも対応できることが確認できた。

（3）上記の水循環モデルを用いて、雨水浸透枡が設置された場合のシミュレーションを行い、雨水浸透枡の設置数と湧水量増加の対応関係を表した結果、雨水浸透枡導入の効果が顕著に現れていること確認でき、湧泉保全事業として雨水浸透枡など雨水浸透工法による流域管理は有効な手段であると提言できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なデータを提供して頂いた国分寺市ならびに働水計画研究所の方々に心から感謝の意を表します。

参考文献

1) 安藤義久・高橋裕・田口隆男：台地の小試験流域における地下水流動を含む地下水流出解析、第28回水理講演会論文集、pp.515-520、1984.

2) 安藤義久・長畑範明：台地の試験流域における地下水流動を含む水循環機構のモデル化とその応用、水文・水資源学会誌第2巻1号、pp.33-40、1989.

3) 安藤義久・宮田俊明・小宮朋弓：台地の試験流域の水循環機構、水利科学、No.197、pp.34-47、1991.

4) 安藤義久・虫明功臣・高橋裕：丘陵地の水循環機構とそれに対する都市化の影響、第25回水理講演会論文集、pp.197-208、1981.

5) 安藤義久・鈴木章・梶谷真・尾崎厚司・林利家：土地利用別の浸透能実測値を用いた都市流域の洪水流出解析、水利科学、No.191、pp.46-56、1990.

6) 安藤義久・鍋山隆：各戸における雨水浸透枡による地下浸透効果に関する水文統計的考察、水工学論文集第34巻、pp.25-30、1990.