

各戸における雨水浸透機による地下浸透効果に関する水文統計的考察
Hydro-statistic Consideration on Efficiency of Infiltration
Facilities at Houses

東京都立大学工学部 安藤 義久 Yoshihisa ANDO
東京都立大学工学部 鍋山 隆 Takashi NABEYAMA

The authors introduce a fractional function for adaptation of a histogram of hourly rainfall data for 13 years at Musashikoganei. Then, using the above fractional function, they develop relationship between infiltration capacity of infiltration facilities and ratio of infiltration to annual rainfall. And an example of estimation of efficiency of infiltration facilities at houses is shown for Kokubunji experimental basin.

Keywords : hydrological statistic, infiltration facility, infiltration.

1. はじめに

各戸における雨水浸透施設は、当初、流出抑制施設として位置付けられていた。¹⁾近年、都市河川において、環境維持流量としての地下水流出量の保全が重要な課題の1つとなる^{2), 3), 4)}につれ、各戸における雨水浸透施設の地下水涵養効果ないしは地下浸透効果の評価が重要となってきた。安藤・長畑の研究⁵⁾によれば、湧水の保全策として、各戸における屋根に降る雨水を地下浸透工法により地下に浸透させ、地下水へ涵養すれば、流域単位として地下水位が保全されるだけでなく、地下水流出量も保全される可能性があることが示されている。本研究では、各戸レベルでの雨水浸透機による屋根雨水の地下浸透効果を統計的・定量的に評価する手法を提示することを目的としている。

2. 13年間の時間雨量データのヒストグラムへの分数型関数の適合

(1) 従来の研究

本研究では、地下水涵養源としての地下浸透を問題としているので、従来の水文統計の主たる対象である年最大時間雨量の評価よりも、時間雨量データの年間内の頻度分布（あるいはヒストグラム）が問題となる。従来のこの方面の研究としては、角屋⁶⁾と鈴木⁷⁾により雨量の総頻度曲線は逆J字型であり、指数型分布やガンマ分布で表現できることが指摘されており、小林・石部⁸⁾はガンマ分布の適合性が高いことを実証的に示している。

(2) 対象とする時間雨量データ

本研究では、国分寺試験流域における各戸の雨水浸透機の地下浸透効果を定量的に評価することを目的としているので、この試験流域に比較的近く、13年間の時間雨量データの揃っている東京都土木技術研究所の武蔵小金井の水文観測所のデータを用いることとした。表1には1975年～1987年の13年間の雨量データの一覧表を示すが、年雨量の平均値は1234(mm)であり、総サンプル数は7958である。図1には、13年間の時間雨量データのヒストグラムを示すが、その分布型は前述した通り、逆J字型である。

(3) ヒストグラムへの指数型関数の適合

まず、図1のヒストグラムへ式①に示す最も簡単な指数型関数を当てはめることを試みる。

$$f(x) = \alpha \exp(-\beta x) \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、 $f(x)$ は確率密度関数、 x は時間雨量(mm/hr)であり、 α と β はパラメーターである。パラメーターを求めるのに、ここではモーメント法を用いる。0次と1次のモーメント式より、②式が得られる。

$$\alpha = \beta = 1/m \quad \dots \textcircled{2}$$

表1 武蔵小金井雨量データ(1975年~1987年)

N o .	年	サ ン プ ル 数	総 雨 量 (mm/year)	時 間 最 大 雨 量 (mm/hr)
1	1975	596	1216.5	21.0
2	1976	682	1402.0	63.0
3	1977	566	1391.0	29.5
4	1978	683	1402.5	63.0
5	1979	465	865.0	24.0
6	1980	717	1348.5	20.5
7	1981	537	1240.0	39.0
8	1982	594	1158.5	34.0
9	1983	696	1312.0	33.5
10	1984	514	869.0	22.0
11	1985	733	1446.0	25.0
12	1986	616	1290.0	27.5
13	1987	559	1095.5	67.5
平 均 値		612	1233.6	36.1
標 準 偏 差		80.9	184.6	16.4

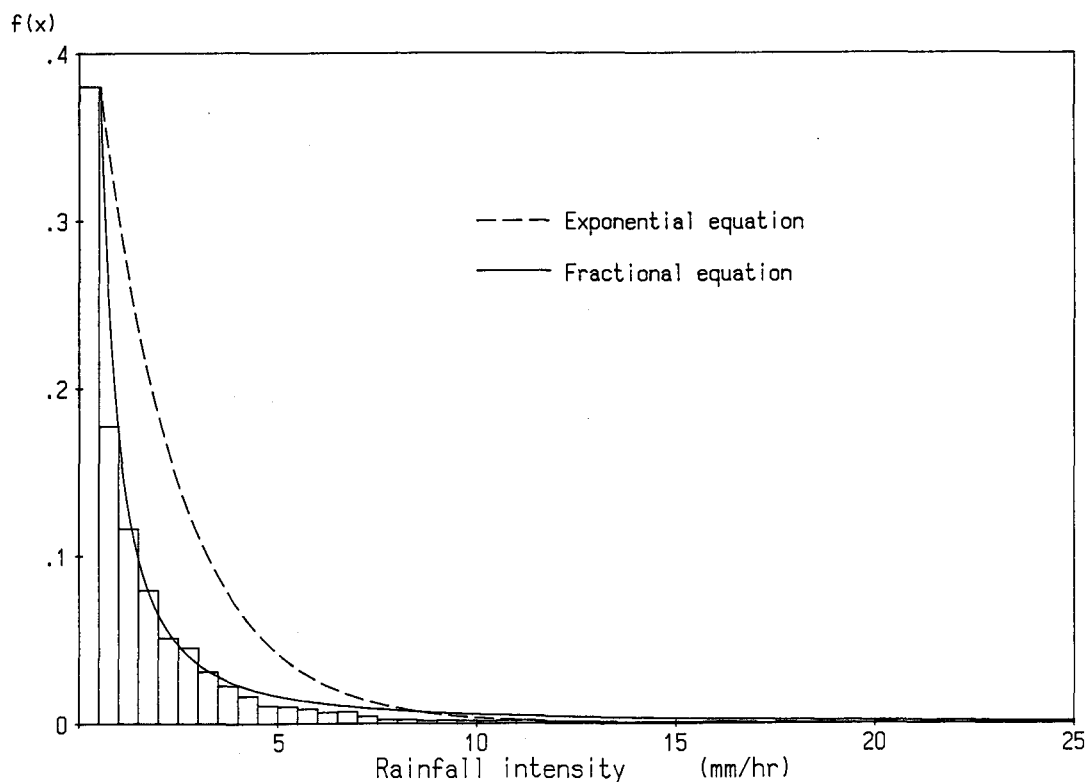


図1 13年間の雨量データのヒストグラムへの指数型関数と分数型関数の適合

ここで、 m は平均値であり、 $m = 2.015$ である。

図1には、こうして求めた指数型関数を破線で示すが、低降雨強度部分でヒストグラムとの差が大きく適合性が低いことがわかる。

(4) 分数型関数の導入とヒストグラムへの適合

後で積分するので、積分の難しいガンマ分布の代わりに、確率密度関数として積分が容易にできる次式に示す分数型関数を導入する。

$$f(x) = \begin{cases} \frac{a}{(1+bx)^c} & 0 \leq x \leq d \\ 0 & d < x \end{cases} \quad \dots\dots ③$$

モーメント法により、③式のパラメーターを決める。0次モーメントの式より次式が成り立つ。

$$\int_0^d f(x) dx = \int_0^d \frac{a}{(1+bx)^c} dx = 1 \quad \dots\dots ④$$

④式を変形すると、

$$\frac{a}{b(1-c)} \{ (1+bd)^{1-c} - 1 \} = 1 \quad \dots\dots ⑤$$

この式より a を求めると、

$$a = \frac{b(1-c)}{(1+bd)^{1-c} - 1} \quad \dots\dots ⑥$$

ここで、 d として再現期間 $T = 1$ 年の時間最大雨量を用いることとし、対数正規分布を用いて表1より求めると、 $d = 40$ (mm/hr)となる。

さらに、1次モーメントの式として次式が成り立つ。

$$\int_0^d xf(x) dx = \int_0^d \frac{ax}{(1+bx)^c} dx = m \quad \dots\dots ⑦$$

ここで、 m は平均値であり、 $m = 2.015$ である。⑦式を変形すると

$$\frac{a}{b(1-c)} \left\{ d(1+bd)^{1-c} - \frac{(1+bd)^{2-c} - 1}{b(2-c)} \right\} = m \quad \dots\dots ⑧$$

この⑧式へ⑥式を代入すると、次式が得られる。

$$\frac{1}{(1+bd)^{1-c} - 1} \left\{ d(1+bd)^{1-c} - \frac{(1+bd)^{2-c} - 1}{b(2-c)} \right\} = m \quad \dots\dots ⑨$$

ここで、 $c = 1.4$ から 1.8 までの値を 0.1 キザミで与え、⑨式を最もよく満たす c と b を求めると、 $c = 1.60$ と $b = 5.40$ が求まる。これを、⑥式に代入して a の値を求めると $a = 3.37$ が得られる。以上のことから、モーメント法により、③式のパラメーターとして次の値が求まったことになる。

$$\begin{aligned} a &= 3.37 \\ b &= 5.40 \\ c &= 1.60 \\ d &= 40 \text{ (mm/hr)} \end{aligned} \quad \dots\dots ⑩$$

③式と⑩式より計算される分数型関数の確率密度関数を、前述の武蔵小金井の13年間の時間雨量データのヒストグラムへ当てはめた結果が、図1中に実線で示されているが、これをみると③式がよく適合していることがわかる。

3. 浸透施設の浸透能力と地下浸透率との関係

ある時間雨量強度 $x = i$ (mm/hr) 以下の降雨は浸透させうる雨水浸透槽を各戸に設置したとき、13年間総雨量の内にどれだけが地下に浸透し、地下水涵養源になるかを考えると、前節の分数型関数の確率密度関数を用いると、浸透量と総降雨量の比 r は次式で表される。(この r を地下浸透率と呼ぶことにする。)

$$r = \frac{N \left\{ \int_0^i x f(x) dx + i \int_i^\infty f(x) dx \right\}}{N \int_0^\infty x f(x) dx} \quad \dots\dots ⑪$$

⑪式に③式を代入して整理すると、次式となる。ただし、 N は時間雨量データの頻度総数である。

$$r = \frac{i(1+bi)^{1-c} - \frac{(1+bi)^{2-c} - 1}{b(2-c)}}{d(1+bd)^{1-c} - \frac{(1+bd)^{2-c} - 1}{b(2-c)}} \quad \dots\dots ⑫$$

こうして得られた、浸透施設の浸透能力 i (mm/hr) と地下浸透率 r を図示すると、図2のようになる。この図2をみると、浸透能力 i が40 (mm/hr) 以上のときには $r = 1$ であり、ほぼ全量が浸透することになり、 i が30 (mm/hr) の時には、雨量の95%が浸透処理され、 i が20 (mm/hr) の時には約90%、 i が10 (mm/hr) の時には約70%の雨量が地下浸透処理されると読み取れる。地下浸透処理された雨水の内、一部は表層の水分保留量や蒸発散になり、残りの部分は地下水へ涵養されと考えられる。

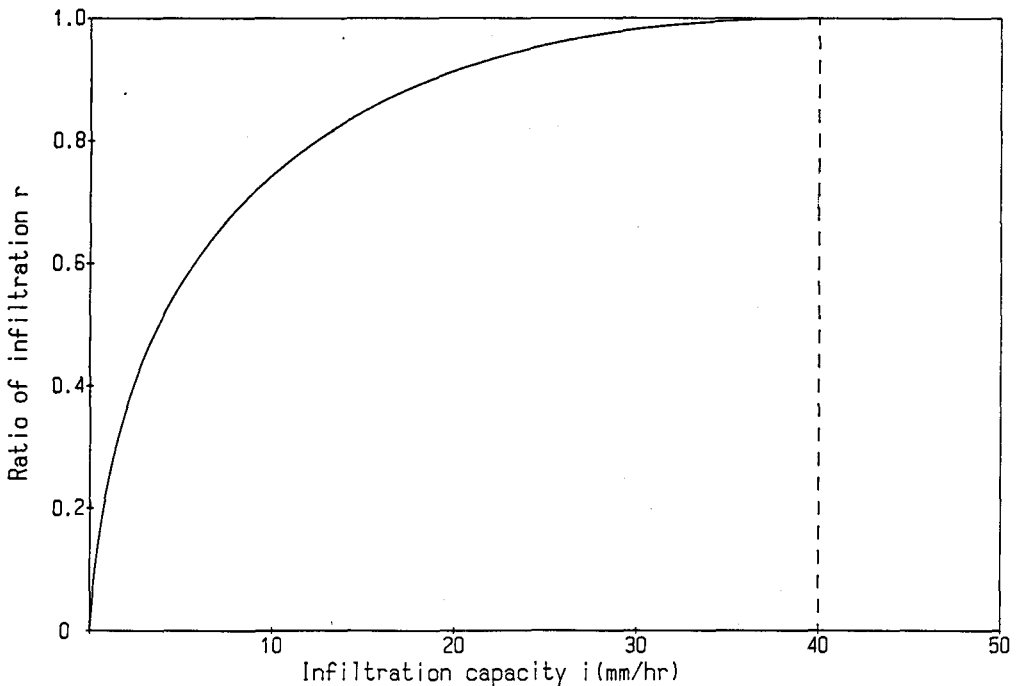


図2 浸透施設の浸透能力 i と地下浸透率 r の関係

4. 国分寺試験流域における各戸の雨水浸透櫛の 地下浸透効果の推定

(1) 雨水浸透櫛の概要

ここでは、図3に示すような雨水浸透櫛を考える。
すなわち、櫛は円柱状であり、側壁が透水性のコン
クリートでできている。この雨水浸透櫛の設置は、
縦といの下に深さ80cm、径が65cm程の穴を掘り、
底面に碎石をひき、浸透櫛が水平になるように設置
した後、周囲に碎石を充填するという手順で行われ
る。設置に要する時間と労力は普通の雨水櫛と同程
度であり、櫛自体の単価も同程度である。

(2) 雨水櫛の集水面積

国分寺試験流域内の185戸の屋根面積と縦とい
の数と雨水櫛の集水面積を調査したところ、表2に
示すような結果が得られた。屋根面積の平均値は
78.8m²であり、縦とい本数の平均値は4.5本で
あり、雨水櫛の集水面積の平均値は17.6m²/個
であった。図4には、雨水櫛の集水面積の分布図を
示すが、8~22m²のあたりで頻度が高いことがわ
かる。

(3) 雨水浸透櫛の単位設計浸透量

図3に示す雨水浸透櫛を国分寺市役所内に設置し
て、定水位法により浸透能力I (m³/hr個) を測定
したところ、I = 0.69m³/hr個 であった。これを、
住宅・都市整備公団の建築部の土木設計要領⁹⁾ によ
り、単位設計浸透量i を求める。

$$i = sy(1-D)(1-E)I \quad \dots \textcircled{13}$$

ここに、s: 安全率(0.8)、y: 供用期間中の目詰
りによる影響(0.5)、D: 降雨による影響(0.1)、
E: 地下水の影響(地下水位が地下10m以上なので0)
である。⑬式から $i = 0.25$ (m³/hr個) となる。

(4) 雨水浸透櫛の地下浸透効果の推定

表2に示す雨水櫛の集水面積の平均値17.6m²を
用いると、雨水浸透櫛の単位設計浸透量i は、

$$i = 0.25/17.6 \times 1000 = 1.4 \text{ (mm/hr個)}$$

となる。これを、図2に示すi-r関係に代入する
と、 $i = 1.4$ (mm/hr) では $r = 0.83$ であり、前述
の雨水浸透櫛を設置すれば、屋根に降る年間降雨量
の約80%を地下へ浸透させ、地下水涵養源とする
ことができると推定される。

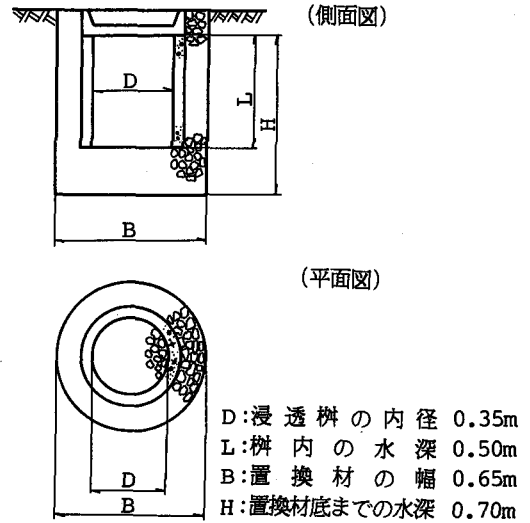


図3 雨水浸透櫛の概要

表2 国分寺試験流域内の各戸の雨水櫛の集水面積

	屋根面積 (m ²)	縦とい本数 (本)	雨水櫛の集水 面積 (m ² /個)
サンプル数	185	185	185
平均値	78.8	4.5	17.6
標準偏差	36.2	1.3	6.0

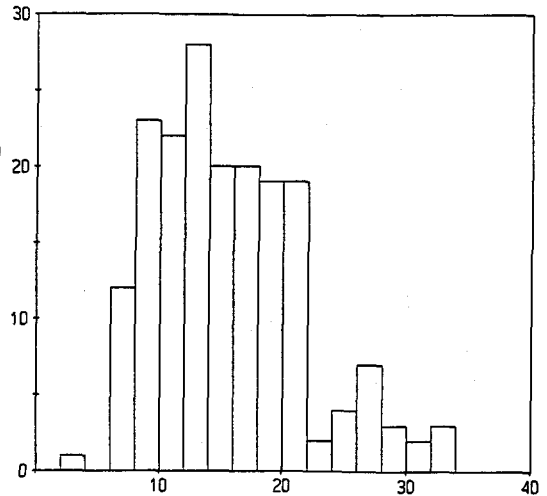


図4 雨水櫛の集水面積の分布

5. むすび

本研究で得られた主な成果を以下に記す。

- (1) 武蔵小金井の13年間の時間雨量データのヒストグラムへの確率密度関数として次式の分数関数

$$f(x) = \begin{cases} \frac{a}{(1+bx)^c} & 0 \leq x \leq d \\ 0 & d < x \end{cases} \quad \dots\dots \textcircled{3}$$

の適合性が高いことが示された。

- (2) 上式を用いて、浸透量*i*と地下浸透率*r*との関係式(⑫式)を定式化することができた。

$$r = \frac{i(1+bi)^{1-c} - \frac{(1+bi)^{2-c} - 1}{b(2-c)}}{d(1+bd)^{1-c} - \frac{(1+bd)^{2-c} - 1}{b(2-c)}} \quad \dots\dots \textcircled{12}$$

- (3) 国分寺試験流域において、雨水枳の集水面積の平均値が約18m²であることを明かにした。

- (4) ⑫式の適用例を国分寺試験流域において示すことができた。

以上のように、本研究では、各戸レベルでの雨水浸透枳による屋根雨水の地下浸透効果を統計的・定量的に評価する手法を提示することにある程度成功したといえる。

今後の課題としては、雨水浸透枳の浸透能力の空間的バラツキをいかに評価するかということ、各戸レベルへの地下浸透トレンチの導入の可能性の究明などが本研究で対象とした国分寺試験流域での課題としてあげられる。また、水文統計上の課題としては、③式の適合性の他の地点雨量での検討などがあげられる。

謝辞

本研究を進めるに当たり、貴重な時間雨量データを提供していただきました東京都土木技術研究所の和泉清氏には深謝の意を表します。有益な助言をいただいた信州大学工学部の寒川典昭助手と京都大学工学部の宝馨助手には厚くお礼申し上げます。また、雨水浸透枳の浸透実験に御協力いただいた国分寺市役所の関係各位には記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉野文雄：浸透型貯留槽からの浸透流の解析と流出抑制効果の評価、土木技術資料24-11、1982。
- 2) 虫明・安藤・高橋・松下：環境用水としての地下水流出の分布特性と都市化による変化、第7回環境問題シンポジウム講演論文集、1979。
- 3) 安藤・大隅・高橋・松尾：都市河川の環境維持流量としての地下水流出の形態と涵養源に関する研究、第11回環境問題シンポジウム講演論文集、1983。
- 4) 虫明・石崎・吉野・山口：水環境の保全と再生、山海堂、1987。
- 5) 安藤・長畑：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、1989。
- 6) 角屋睦：水文統計論、土木学会水理委員会、p.5、1964。
- 7) 鈴木栄一：気象統計学、地人書院、pp.31~32、1968。
- 8) 小林・石部：雨量の度数の分布について、気象と統計、第8巻、1958。
- 9) 熊谷・原田：雨水貯留施設の計画と設計、鹿島出版会、p.142、1986。