

都市住宅地における地域循環施設の一形式とその機能
An artificial hydrologic cycle system in urban area

東京工業大学工学部 石川 忠 晴 Tadaharu ISHIKAWA
国 土 庁 斉 藤 栄 Sakae SAITO
東京工業大学大学院 川 端 一 嘉 Kazuyoshi KAWABATA

Urbanization tends to make the hydrologic cycle out of gear and intensify the problems of inundation, land drying, water pollution and others.

In this paper, a policy for improving the hydrologic system in an urban area is discussed in which a role of the local community is stressed more than that of public works.

An idea of a hydrologic structure possessed and maintained by a community of neighborhood unit is proposed and its hydraulic capability for water supply is examined by using a seepage flow model.

Keywords : Urbanization, Hydrologic Cycle, Local Community, Water Supply

1. はじめに

近年、都市型洪水の激化、渇水頻度の増大、公共水域の汚染、水辺環境の劣化ないし喪失などの都市の水環境問題がクローズアップされてきている。水問題は公共性が高いので、これらの対策として種々の公共事業が企画されている。例えば、洪水に対しては河川改修を主体とする治水事業、渇水に対してはダム建設などの水資源開発事業、公共水域汚染に対しては下水道事業、水辺の復活に対しては「せせらぎ」を取り込んだ造園事業、という具合である。これらの事業の間には多少の調整や複合化が見られるが、しかし全般的には個性が強い。自由社会の公共事業は、個別に発生する社会的ニーズに従って企画され、ニーズの範囲を逸脱して事業を拡張することは原則的には許されないからである。

しかし上に述べた種々の水環境問題は、現代都市社会における我々の「住まい方」に起因するという意味で同根の問題である。人為の圧力の強い場においては、住まい方と環境問題は表裏一体の関係にある。したがって水環境問題は現代都市の体質的な問題である。一方、公共事業による対策は、体質を改善するというよりは、個々の傷口を塞ぐ対症療法的性格のものである。実際、都市の公共事業は、関係者の努力にもかかわらず、住民の理解を十分に得られないこともある。このひとつの原因は、水問題を激化させているもともとの体質がそのまま放置されていることと考えられる。

公共的問題の解決には、公共事業などのハードな対応だけでなく、社会制度、地域コミュニティ活動、学校教育など様々なソフト的対応が考えられる。現代の都市社会では前者の比重が大きいが、しかし長期的に見れば、後者のソフト的対応とそれに誘導される住まい方の変革が問題解決に有効な場合も多いであろう。と言うのは、都市の公共的問題の多くが我々の住まい方に起因するからであり、ソフト的対応は、言わばその体質改善につながるからである。

それではなぜソフト的対応が進まないのか。筆者は次のように考える。都市化の進展に伴い、社会運営上の種々の問題を、公共団体が関与する公けの問題と個人の裁量に任せる私的な問題に2極分化する傾向が強まっている。そして少しでも公共的性格を伴う問題は公共団体が処理すべきと考える風潮にある。しかしすべての問題が完全に公と私に分類されるはずはない。むしろ多くの問題は中間的性格つまり地域の問題ではないのか。都市環境問題の多くは公と私の間から生じていると思われるのである。すべての問題を公共団体の責任とするか或いは個人の自由としてしまった結果、地域の問題が無くなってしまい、地域コミュニティが解体してしまった。コミュニティは共通の問題を抱えることによって結束するものだからである。そして

地域コミュニティを喪失した結果、ソフト的対応の有効性が著しく損われていると思われるのである。

ところで、都市環境は元来人工的なものであって、自然の機構を過度に歪めて副作用を起こさない限りにおいては、人間の好みに合わせて意図的に造るものである。この意味において都市環境も一種の施設と考えられる。環境が共有物であることからすれば、それは広義の社会基盤施設である。このことと、都市環境が住まい方と表裏一体であることを考え合わせると、都市においては住まい方自体が社会基盤施設を構成していると言えるだろう。そしてこの広義の社会基盤施設の健全性は公共的問題に対するソフト的対応と密接に関係しており、それゆえ地域コミュニティの存在と深く関わっているのだ。

さて、物理的に見れば、水環境問題は都市における水文循環の歪みに起因する。実際、都市の水問題が顕在化するにつれ、都市の地域水循環に関する議論が盛んになってきている。しかしその内容は湧泉の再成などの自然的水循環の復活から下水処理水のリサイクルまで千差万別であり、個別的である。もちろん個々の努力は貴重ではあるが、筆者は、将来的な都市構造の一部として地域水循環を位置付け、公共問題に対するソフト的対応との関係からその形式を考えてゆく必要があると考える。また、上に述べた社会基盤施設の意味あいから、地域水循環の施設は、純粋な公共施設ではなく、また私的な施設でもなく、地域社会に埋め込まれた半公共的施設とするのが良いと思われる。

以上のような考えのもとに、本研究は地域水循環のひとつのイメージを構成し、その機能の定量的評価を行うことを目的として行われている。

2. 泉の街計画

図1に施設の概念図を示す。住宅地の下に透水性の良い層を設け、住宅の屋根や路地に降った雨を注入する。注入された雨水は透水層を伝って横に広がり、鉛直下方に浸透する。その下には第2の透水層が敷かれており、浸透してきた雨水はこれに導かれて水平に移動し、何処か適当な場所に湧出する。これは、言わば住宅地に設けられた小型の地下ダムであり、地域における内水災害の防止と水資源開発を同時に行おうとするものである。地盤の厚さや排水長及び透水材の諸元を適当に工夫すればかなりの機能が期待できる。

次節において施設の概略の諸元と機能について検討した結果を述べるが、その前に、本節ではこの施設の別の側面について述べておきたい。

この施設が防災調整池などと異なる点は、施設の構造と水の動きが自然的であることだ。上部の透水層で広げられた水は地表が被覆されていないのと同じような状態で地中に浸透する。下部の透水層は丁度地盤にはさまれた礫層のように水を水平に移動させる。つまり自然地盤から湧き出る泉と類似した構造を持っている。施設は人工的だが、水の流れは自然的であり、日照りが続けば渴れることもある。生活の中で自然的運動と対面できるようにすることをひとつの目的としているのである。

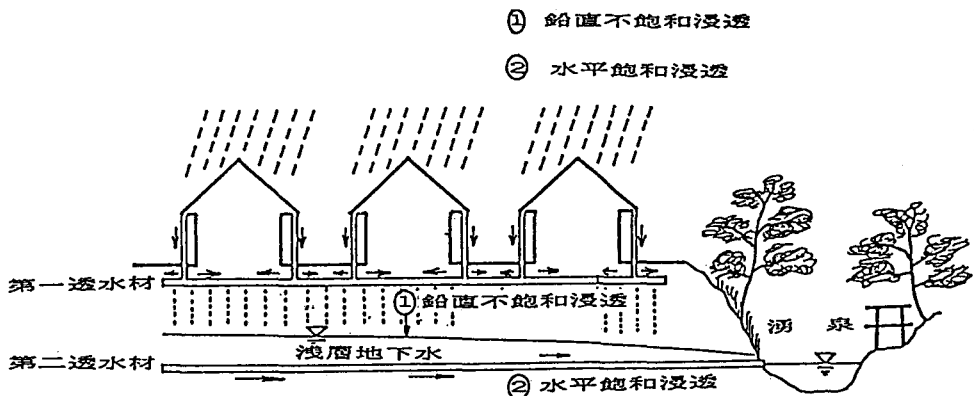


図1 施設概念図

さて湧き出た水は“地域の水”となるが、その場合の地域をどのように取るか。筆者は小学校区単位で考えたい。ペリーが近隣住区論で述べているように、⁽¹⁾小学校区という地域単位は住民が共通の問題を持つ機会が多く、また小学校が地域の諸活動の場所を現に提供していることから、地域コミュニティを形成しやすいと考えられる。そして、地域水循環施設を地域コミュニティの共有物とし、水循環問題を（部分的ではあるが）地域の問題として感覚的にとらえられるようにする。地域の問題の復活は地域コミュニティの再生につながり、公共の問題に対するソフト的対応を有効にし、広義の社会基盤施設としての都市の住まい方を健全な方向に導いてゆく。と、少し調子が良すぎるようだが、要するに将来の都市社会の変化の中で何がしかの役割を果たすことを期待している。

小学校区を単位とするのであれば、泉の設置場所は小学校内とするのが自然であろう。小学校はオープンスペースを持っているので、それなりの泉の設計が可能である。また利水のための浄化施設も設けやすい。小学校に泉を設置するのであれば、それを教材として利用することができる。児童に定期的に流量を計測させて雨量との相関を取らせたり、地域水循環の仕組みから自然界の仕組みを連想させたり、公共施設というものを理解する上での手掛りとさせたり、いろいろの使い方が考えられよう。

このようにして生み出された水は地域の住民が利用する。利用することが大事である。各戸に上水として送ったり、環境用水として利用したり、また地域の祭りの神輿をこの泉で清めるなどイベントにも活用できよう。話がやや細かくなってしまったが、要するに、この地域水循環に接することによって、洪水や渇水や水環境の問題を意識するとともに地域コミュニティ意識も高めようということである。このような意図があるので、図1に示した施設計画を筆者らは「泉の街計画」と呼んでいる。

3. 人工保水地盤の諸元と流出特性

3-1 計算方法

図1の地盤の流出特性は、地盤の不飽和浸透特性、排水区長、透水層の透水性、地盤の起伏などに依存しよう。しかし、現実的な地盤諸元についてこれらの因子を考慮して浸透計算するのは相当困難である。ここでは水循環施設のイメージと実行可能性を探るために大体の諸元と機能を知ることが目的として、図1に示すように、流出系を鉛直不飽和浸透流(①)と水平飽和浸透流(②)の組み合わせで表わせるとして簡略計算を行った。この仮定は、透水層の透水性が地盤の水平透水性に比べて十分大きいことを前提としている。

まず現実的と思われる土層厚(2m)について種々の土質パラメータ鉛直不飽和浸透のみの計算を行った結果、上部透水層の貯留と下方への浸透でかなりの洪水遅延効果が認められたが、しかしそれだけでは利水を可能とする長期流出は得られなかった。そこで地盤の一区画のスケールを大きく取って水平浸透流の流出遅れによって保水性を持たせることにした。また、検討対象を利水補給の機能に置くこととした。

図2に示すような流れを対象とする、平らな地盤の中に水平に透水層が敷かれている。透水層の下面には難透水材が敷かれているものとする。ダルシー則と連続条件式から浸潤面水位 h についての方程式が次のように得られる。

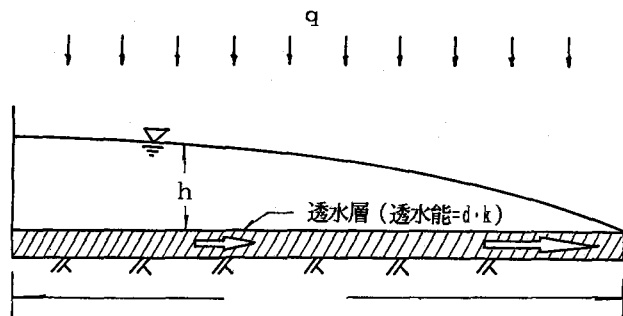


図2 水平飽和浸透流

$$M \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = d \cdot k \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + q \quad (1)$$

ここに、 k ：透水層の透水係数

q ：透水層に落ちる下降水の下降強度（ここでは雨量強度に置きかえている。）

M ：土壌の空隙率（ここでは0.2とした。）

d ：透水層の厚さ

L ：排水区域の長さ

単位面積当たりの単位時間流出量 q' は、単位の雨に対して次式で表される。

$$q' = \begin{cases} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{2}{a_i} \{1 - \exp(-a_i c \tau)\} & (0 \leq \tau < 1) \\ \sum_{i=0}^{\infty} \frac{2}{a_i} \{\exp(a_i c) - 1\} \cdot \exp(-a_i c \tau) & (1 \leq \tau) \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 $\tau = \frac{t}{t_0}$ $a_i = \{(i - \frac{1}{2})\pi\}^2$ $c = \frac{d \cdot k}{L^2 M} t_0$ t_0 = 単位時間

また、排水区上流端の水位は次式で表される。

$$h|_{x=L} = \begin{cases} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{2L^2}{dk} \cdot \frac{1}{a_i^{3/2}} \cdot \sin(\sqrt{a_i}) \cdot \{1 - \exp(-a_i c \tau)\} & (0 \leq \tau < 1) \\ \sum_{i=0}^{\infty} \frac{2L^2}{dk} \cdot \frac{1}{a_i^{3/2}} \cdot \sin(\sqrt{a_i}) \cdot \{\exp(a_i c) - 1\} \cdot \exp(-a_i c \tau) & (1 \leq \tau) \end{cases} \quad (3)$$

(2)式はいわゆる単位図に相当するので、これと q の重畳積分によって流出量時系列が求められる。

3-2 排水区長

排水区長を大きく取れば保水性は向上する。しかし、保水地盤の区画割りを地表の区画割りと無関係に設定することは難しい。それに排水区長がランダムであると、最適な透水能などがバラバラになって造りにくいということがある。そこで筆者らは、東京都目黒区の地図から区道以上の街路によって画される区間の平均辺長を求め、これをもとに代表排水区長を先に定めることとした。目黒区の三住区の区画辺長の分布を調べたところ、ほぼ似たような分布を示し、平均値も82.1m, 82.9m, 83.9mとほぼ一定している。そこで数値をまとめて一排水区の排水区長を100mとした。なお各排水区からの流出水は街路下に敷設された管路を通過して小学校に湧出するものとする。

3-3 計算結果

入力降雨として東京大手町の1983年から1986年の雨量記録を用いた。図3に透水層の透水能($d \cdot k$)が $1 \text{ cm}^2/\text{s}$, $5 \text{ cm}^2/\text{s}$, $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ の場合の1985年の計算結果を示す。左が流出量、右が上流端の浸潤面高さである。これから、透水能が $10 \text{ cm}^2/\text{s}$ では流出量がほとんどゼロになる頻度が高く、保水能力がやや不足している。一方透水能が $1 \text{ cm}^2/\text{s}$ の場合は上流端浸潤面が相当高くなるので、下部透水層の位置をかなり深くする必要がある。透水能が $5 \text{ cm}^2/\text{s}$ の場合は流出量も比較的連続しており、上流端浸潤面深さも概ね1m以内に収まっている。そこで以下では下部透水層の透水能が $5 \text{ cm}^2/\text{s}$ の結果について詳述する。

図4は計算期間1461日の上流端浸潤面高の超過日数である。極めて稀に2mを越えることもあるが、ほとんど1m以下である。これから、下部透水層の地表面からの深さは2m程度を考えておけば良いと思われる。

図5は変動する日流出量とその流量を年間に確保できる日数の関係を1人1日当りの供給量の形で表示したものである。(ただし人口密度を $15,000 \text{ 人}/\text{km}^2$ と仮定している。)給水能力として低水流量(1年の内270日確保される流量)をとれば、1人1日当り50リットルとなる。したがって、道路に降った雨や豪雨の溢水分として下水道に入った雨を考慮しても、1人1日30リットル程度は確保できると期待される。図6に

は昭和62年の渇水時の利根川上流ダム群の貯水量の変化（実線）と、東京都民が1人1日当り30リットルの節水を常時実施していたとした場合の仮想的な貯水量（点線）を示している。これから上記の施設による給水があれば昭和62年の渇水は生じなかったことになる。再び図5に戻って、1人1日当り5リットルに対応する日数を見ると355日となり、年間を通じてほぼ確保されることがわかる。人間が1日に必要とする飲み水は約2リットルであるので、地震などでライフラインが切断されても、とりあえず生き延びるに必要な水は地域で確保できることになる。

図7は1人1日50リットルを供給できる日数の割合を月別に示している。これからダムからの利水補給がピンチになる灌がい期に十分な水量を持ち、現システムを有効に補完することがわかる。図8は昭和62年の渇水時における補給量を示しているが、平均で135リットル、最低でも25リットルとなっている。

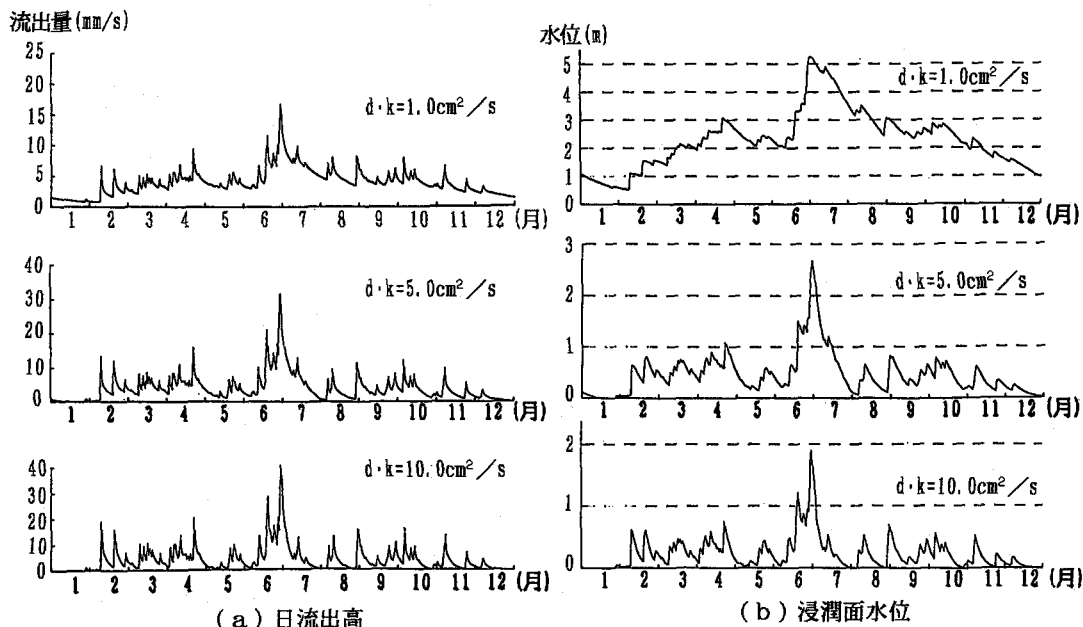


図3 下部透水層の透水能 ($d \cdot k$) による流出の変化 (1985 大手町)

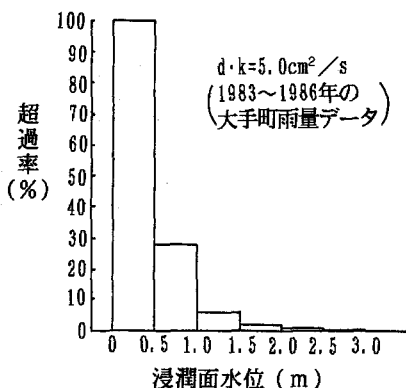


図4 浸潤面水位の超過率

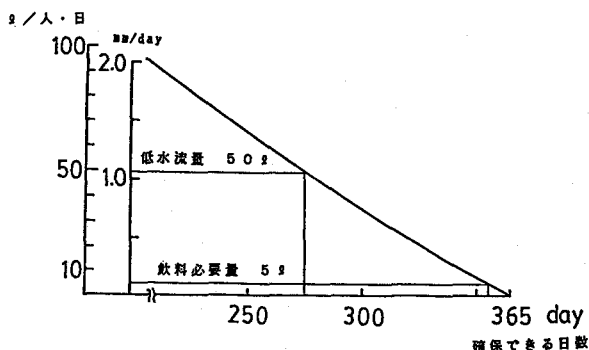


図5 流量と確保日数の関係

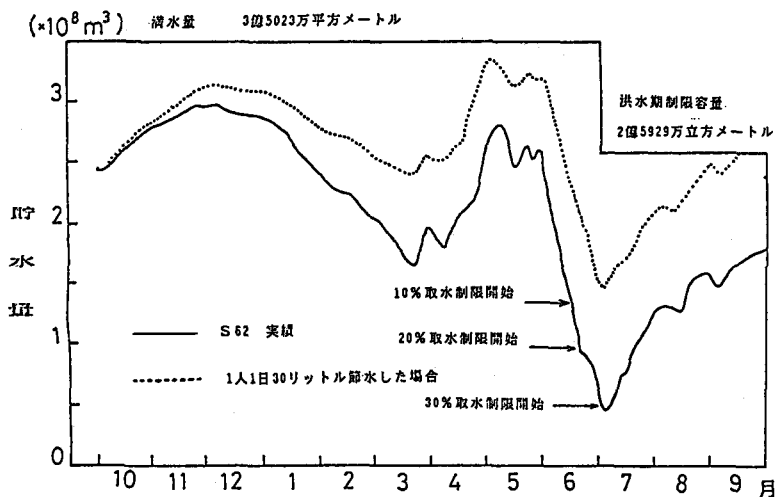


図6 節水による貯水量の変化(昭和62年)

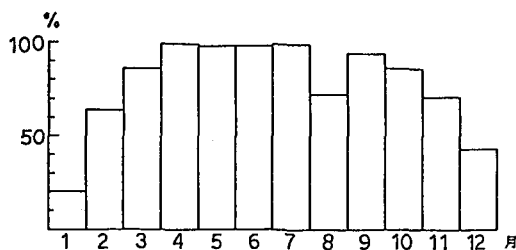


図7 50ℓ/人・日を確保できる割合

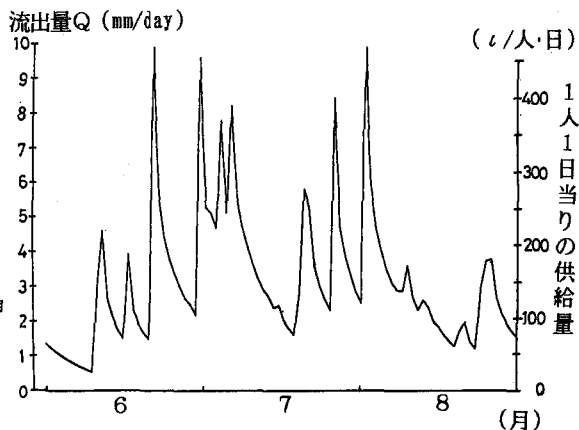


図8 昭和62年渇水時の新規開発水量

4. おわりに

筆者らは、以上述べてきた施設をすぐに造ることを主張しているわけではない。将来的な社会基盤施設の可能性として考えているのである。このように社会に埋め込まれた社会基盤施設は地域コミュニティとの結び付き無しには成立しないものであるから、一朝一夕にはゆかないであろう。その第一段階としては公的援助の制度などによって小学校のグラウンドや新しく開発される団地や、あるいは再開発事業区域など行政指導の及びやすい所から建設することが考えられよう。これと併行して、地域コミュニティの活性化、小学校の水教育、小学校の地域コミュニティへの開放などの努力を続け、水問題への意識の向上を計ってゆけば次第に賛同者が増えるのではないかと考えている。将来の社会意識にもよるが、この種の施設は一度造られ始めると地域コミュニティの維持・強化に役立ち更に教育施設としても機能すると期待され、そのような良い循環が形成されれば、水循環だけでなく地域意識循環の装置としても機能しよう。

引用文献

倉田和四生訳：近隣住区論，鹿島出版会，1975（原著 Perrey, C. A. : The Neighborhood Unit, Regional Survey of New York and Its Environments, vol.7, Neighborhood and Community Planning, Monograph One, New York, 1929）