

都市型水害における下水道浸透柵の効果について

社会システム事業部 東京センター 環境情報課

劉 瑀

1. はじめに

日本は、有数の山の多い国で、都市の多くは河川流域下流部の低平地に集中している。日本列島は、モンスーンアジア気候帯に位置し、湿潤多雨である。このような地形的・気象的特徴から、洪水による外水氾濫は必然的に起こり得ることが予測される。特に、近年、都市化の進展に伴って、都市部における流出量の増大や流出時間の短縮などは、外水氾濫の危険性を一層高めると同時に、下水道や排水路の排水能力の不足を増大し、内水氾濫を引き起こす。平成12年9月の東海豪雨による被害^[1]は、このような都市型水害の典型的な例といえよう。

都市部における外水氾濫および内水氾濫を防止または軽減するために、河川・下水道を一体としたハード面および危機管理といったソフト面による総合治水対策が打ち出されている^{[1][2][3]}。河川・下水道を一体化した総合対策では、洪水防御施設（河川の貯留池や下水道の貯水池、または浸透施設など）が含まれている。

近年、下水道浸透施設のうち、浸透柵が大いに注目されている。下水道浸透柵は、都市部の洪水氾濫防止に役立つと共に、地下水源の確保、地盤沈下の防止、ヒートアイランド現象の緩和および都市の生態系の自然回復にも貢献できることから、各自治体は、住民に庭に屋根の雨水を集める

浸透柵の設置を呼び掛けている。

本文では、広域地下水収支および都市型水害総合治水の観点から、下水道浸透柵の効果について考えてみる。

2. 浸透柵の浸透効果と問題点

2.1 浸透柵の浸透効果

浸透柵は、雨水を地盤の浅いところに浸透させる施設である。浸透柵の仕組みは、図-1に示すとおりである。屋根の雨水は雨といを經由して、浸透柵に流れ込む。浸透柵は、浸透柵本体とその回りを囲む砂利の部分からなる。浸透柵本体は、一般に直径300～400mm、高さ1000mmの円筒状のものが多く、材料はコンクリートや塩ビ等がある。砂利の部分の外周には透水シートが張られている。

浸透柵と下水道との間には、排出管が設けている。浸透柵内水位が設計水深を超えたとき、雨水は排水管を介して下水道へ流れる。

浸透柵の設置場所は、一般に台地、段丘、扇状地、自然堤防、丘陵地、浜堤および砂丘地等地形に適すると言われている。地盤条件としては、透水係数が 10^7cm/s 以上、土の空隙率10%以上、または地下水水位が比較的低いことなどが上げられる。

浸透柵は、雨水の下水道への流入量をカットすることができ、その浸透効果は、認められつつあ

る。通常、浸透枿の浸透量 (m³/s, m³/hr) という概念を用いて、浸透効果を表す。以下に、浸透枿の浸透効果について試算してみる。浸透枿 1 個当たりの浸透量は下式によって計算する^[4]。

$$q = \frac{2\pi \cdot k \cdot h_0 (h_0 + h)}{2.3 \log(R/r)}$$

ここに、 q は単位浸透量 (m³/s) ; h_0 は浸透マス内の水深 (m) ; L は浸透側面の深さ (m) ; h : 浸透マス底から地下水面までの深さ (m) ; r は浸透マス半径 (置換材までの半径) (m) ; k は土の透水係数 (cm/s) ; R は影響半径 (m) であり、計算式 $R=2(L+h)^{1.5} \cdot k^{0.5}$ で計算する (図-1)。

表-1 に示したのは、透水係数 1.6×10^6 cm/s (土研による関東ロームの浸透試験値) で、地下水位 15m の地盤条件における計算結果である。

以上の計算結果、即ち、浸透枿 1 個当たりの浸透量 0.2m³/hr は、極普通に見られる浸透枿の浸透効果である。但し、浸透効果は地盤条件に大きく左右される。

2.2 浸透枿に関わる問題点

浸透枿は、前述したように、都市部における洪水防止、地下水源の確保、地盤沈下の防止等には有用であるが、現状では、浸透枿の設置はまだまだ普及していない。これからは、自治体の努力や住民の防災意識の高揚に伴い、浸透枿の設置数量は増えていくことが予想される。ここで、浸透枿

表-1 浸透枿 1 個当たりの浸透量

L (m)	h (m)	k (cm/s)	R (m)	h_0 (m)	r (m)	q (m ³ /hr)
1.0	15.0	1.6×10^{-5}	0.8	0.75	0.4	0.2

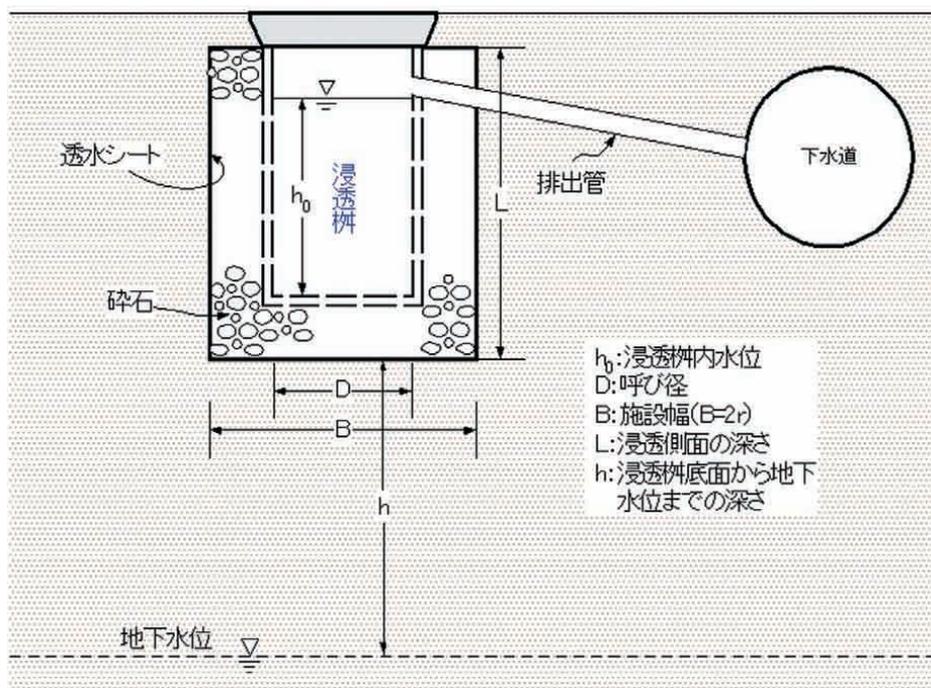


図-1 雨水浸透枿の仕組み

の設置数量の増加に伴って、新たに問題が発生するかどうかについて考える必要がある。例えば、

(1) 地下空間の市街化による地下水脈の遮断は、自然地盤を前提とした浸透効果は期待されるとおりに現れるか？また、この浸透は、地下水位の変動にどんな影響を与えるか？

(2) 今まで浸透柵は下水道の付属施設として捉えてきている。都市型水害は、下水道、河川および都市部地表面からなる複雑なネットワークにおける水循環の結果であるため、浸透柵をこのようなネットワーク全般でみる場合、その効果はどうなるか？

これからの問題を答えるために、広域における浸透柵の浸透効果について適切な評価をしなければならない。

3. 浸透柵の浸透効果についての評価

広域における浸透柵の浸透効果を評価するために、二つの評価方法が挙げられる。一つは、広域における地下水の収支から、浸透柵の浸透効果はどのように地下水位の上昇に寄与するかである。もう一つは、都市部総合治水対策の面から、浸透柵は、洪水氾濫（内水氾濫・外水氾濫）の防止にどの程度役立つかである。

3.1 広域地下水収支による評価

浸透柵浸透効果を定量的に評価するため、以下のケースについて計算してみる。

都市部のある小排水区（図-2）は、面積 $A=5\text{km}^2$ 、流出係数 $f=0.5$ 、平均降雨 $r=20\text{mm/hr}$ であると仮定する。合理式によってピーク流量 Q を以下のように計算できる。

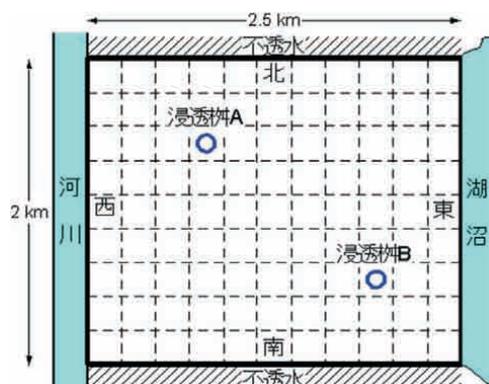


図-2 小排水区の境界条件

$$Q = f \cdot r \cdot a / 3.6 = 0.5 \times 20 \times 5 / 3.6 \\ = 13.9 (\text{m}^3/\text{s}) = 1,200,000 (\text{m}^3/\text{day})$$

仮にピーク流量の $1/100$ 、即ち $12,000\text{m}^3/\text{day}$ が浸透柵によって浸透され、浸透柵 1 個の浸透能力は $0.2\text{m}^3/\text{hr}$ とすれば、必要となる浸透柵の数は約 2,500 個である。

以下に、2,500 個の浸透柵を二つのグループ (A と B) に分け、それぞれ $6,000\text{m}^3/\text{day}$ の雨水を 3 日間にわたって浸透させた場合、地下水位の変動状況について、平面二次元地下水の浸透流解析を用いて計算する。

支配方程式は以下のとおりである^[5]。

$$S \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[T_x \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[T_y \frac{\partial H}{\partial y} \right] - W$$

ここに、 S は貯留係数、 H は圧力水頭、 T は透水量係数、 W は揚水・注水強度 (Q) または漏水強度 (r_c)。

計算方法は、領域を 250m の等間隔直交格子に置換え、時間増分を 0.25day とする差分法を用いた。差分スキームは、平面二次元解析によく用いられる反復交互方向陰解法^[6]を採用し、許容計算誤差は 0.001m とした。

計算条件は、表-2 に示すとおりである。

計算結果は、図-3 に示すとおりである。図-3(a), (b) は、それぞれ浸透柵による浸透が始まってから1日と3日後の地下水位分布を示している。

図-3(a)のように、僅か1日後、小排水区の約5割の区域は、地下水位が約10~50cm程度上昇し、約2割の区域の地下水位が50cm以上も上がったことが分かる。境界水頭の低い西側(H=14.0m)は、地下水位が低下する一方、境界水頭の高い東側(H=15.0m)の上昇が目立つ。当然ながら、浸透柵グループA, B付近において、地下水位の上昇は比較的大きい。

同様に図-3(b)に示したように、3日後は、小排水区の約8割の区域は、地下水位が10~50cm程度上昇し、約5割の区域は、地下水位が50cm以上も上がったことが分かる。

以上に示した面積5km²の小排水区における地下水位の急激な変動は、極めて稀なケースである。しかも、これは、当排水区における平均雨量20mm/hrのピーク流量の1/100が浸透した場合

の試算である。したがって、浸透柵による浸透効果は無視できないことを示唆している。

勿論、実際には対象区域の地盤状況(帯水層の分布、地下水位、等水量係数等)、気象状況並びに計画規模を踏まえて、更なる精確な計算が必要である。

3.2 都市部総合治水対策による評価

浸透柵の浸透効果を地下水収支による評価が必要であるが、十分とは言えない。益々重要と見られる都市型水害総合治水対策から考えれば、浸透柵は、どの程度流出の低減に寄与できるかについて

表-2 広域地下水浸透流解析の計算条件

条件	内容
基本条件	<ul style="list-style-type: none"> ・帯水層：等方均質 ・透水量係数： $T_x = T_y = 8000 \text{m}^2/\text{day}$ ・貯留係数 $S = 0.005$
初期条件	<ul style="list-style-type: none"> ・地下水頭 $H = 14.5 \text{m}$
境界条件	<ul style="list-style-type: none"> ・南北の境界：不透水 ・東西の境界：既知定水頭で、西側 $H = 14.0 \text{m}$、東側 $H = 15.0 \text{m}$ ・鉛直方向の流入量：浸透柵グループAとグループBからの浸透量はそれぞれ $Q = 15,000 \text{m}^3/\text{day}$ ・上層からの漏水による涵養強度： $r_e = 1 \text{mm}/\text{day}$

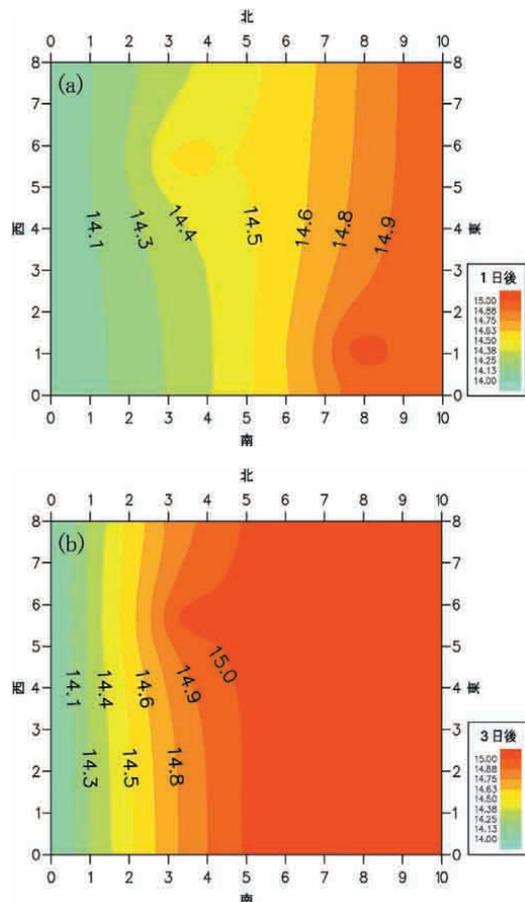


図-3 地下水位の時間的変動

でも評価する必要がある。

下水道と河川は、一つのネットワークになって、都市部を洪水から守る役割を果たすと同時に、現実的には整備の不十分による外水氾濫および内水氾濫が生じ、氾濫水が地表で二次元的に流れる災害現象、いわゆる都市型水害はしばしば報じられる。

浸透枿は、このような都市型水害の防止に役立つ施設として認識されているものの、地域全般における総合的な評価は未だ出来ていない。いくつかの流出解析モデル(MOUSE, XP-SWMM, HydroWorks等)があるが、浸透枿の浸透効果を考慮したうえ、地表氾濫水の流れを二次元的に捉えるモデルがない^[7]。

適切な評価を行うために、浸透枿の位置付けを下水道ネットワークのみに留まらず、河川および地表二次元氾濫をも含んだ総合システムにおいて行うことが最適であろう。

4. おわりに

浸透枿の浸透効果は期待できる一方、新たな問題が発生する可能性がある。都市総合治水対策の面から見ても、中長期にわたる総合計画が必要であり、できる限りに定量的な評価が望まれる。

今後は、河川・下水道・地表氾濫の“三位一体”の都市型水害総合検討システムを開発し、広域における地下水収支問題の検討は、浸透流解析と連携して、より精確な定量的評価ができるようになると考えられる。このような評価ができれば、浸透枿の過剰設置の恐れがあるかどうか分かるようになり、よりバランスの取れた行政指導が行えるようになるであろう。

謝 辞

本稿の作成に当たって社会システム事業部の田村善昭氏には初稿のレビューを、また同事業部 齋藤憲一郎氏には、浸透流解析計算プログラムの修正をして頂きました。ここに記し両氏に感謝を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- [1] 辻本哲郎：豪雨災害と治水安全度・耐水危機管理。河川技術論文集，第7巻，2001年6月，P12-17。
- [2] 都市型水害緊急検討委員会：都市型水害対策に関する緊急提言。記者発表，平成12年11月9日。
- [3] 福岡捷二，谷岡康：都市域の河川・下水道の連携した治水対策について。河川技術論文集，第7巻，2001年6月，P6-11。
- [4] 地下水の力学，丸善(株)，昭和42年，p 315。
- [5] 原田守博：地中水の解析(2)広域地下水。水理公式集平成13年版：例題プログラム第1編 水文編，土木学会，2002年3月。
- [6] 山崎郭慈：偏微分方程式の数値計算法入門，森北出版，p 54-61，1993。
- [7] 【財】下水道新技術推進機構：流出解析モデル利活用マニュアル(雨水対策における流出解析モデルの運用手引き)，1999年。