

礫間貯留浸透法による出水抑制と環境用水の確保

Urban Storm-Runoff Control and Environmental Water Preparation
by Gravel Storage-Infiltration Method

岡 太郎*・石尾 年光**・金光 泰秀***

By Taro OKA, Toshimitsu ISHIO and Yasuhide KANEMITSU

A gravel storage-infiltration method, which make a part of the surface rainfall runoff infiltrate into the soil layer with the aid of gravel layer which inserted artificially in the underground, is proposed to reduce the flood discharges and to prepare the environmental water in urbanizing area. The mechanisms of infiltration from the inserted gravel layer are clarified by numerical analysis.

In addition, assuming a case where this facility is settled in the residential area of Uji city, a rainfall runoff analysis is conducted and the practicability of this method is examined.

Keywords: gravel storage-infiltration method, urban storm control, environmental water, infiltration, soil moisture

1. まえがき

都市近郊の丘陵地や農地の宅地化は、雨水流出量と速度を増大させ、低地部に開けた市街地の水害危険度を高めている。しかし、市街地では用地取得難のため河川改修や揚水機場・遊水池の設置・増設は容易でない。このような都市水害問題に対処するため流域全体で総合的治水対策が必要となっている。

一方、都市は利便性と機能を追求するあまり、地表面はコンクリート等で覆われ、潤いを失っている。近年、この状態を反省する傾向にあり、アメニティ豊かな都市空間を創造する必要性が強調されている。ここで問題となるのが清らかな流水の確保である。

さらに、緊急時の水源確保の重要性は、阪神・淡路大震災で経験したとおりである。この場合には、現地に一定量の水を備蓄しておくが必要になる。

ここでは、都市化域の出水を軽減するとともに、貯留した雨水の再利用が可能な礫間貯留浸透法について貯留・浸透特性、設置効果及び設置上の問題点を検討する。なお、礫間貯留浸透法は碎石貯留浸透法とも呼ばれ、一部の地域で試験的に施工されている¹⁾が、浸透機構などについては未解明な部分が少なくない。

* 正会員 農博 京都大学防災研究所教授

(〒611 宇治市五ヶ庄官有地)

** 正会員 パシフィックコンサルタンツ西日本事業本部河川計画課長

(〒532 大阪市淀川区西中島4-3-24 新大阪木村第3ビル)

*** 正会員 建設技術研究所河川本部広島河川室次長

(〒730 広島市中区八丁堀2-3-31 広島鴻池ビル)

2. 礫間貯留浸透法

礫間貯留浸透法は、建造物・駐車場などの基礎の一部を礫で置換し、礫の間隙に雨水を一時貯留し、その側面及び底面から地下に浸透させようとするものである。この方法は、図-1に示すように浸透型（非利水型）と貯留・浸透型（利水型）に分類できる。ここで、浸透型は雨水を礫層中に一時貯留するが、その全量を地盤へ浸透させるものであり、雨水の利用は考えていない（図-1（a））。一方、貯留・浸透型は、礫層中の一部区間を不透壁で仕切り、雨水を貯留し再利用しようとするものである（図-1（b））。

3. 数値シミュレーションによる貯留・浸透特性の検討

礫間貯留浸透法の実用化を推進するためには、礫部での貯留及び周辺地盤への浸透機構を明らかにする必要がある。ここでは、図-2の解析領域について数値シミュレーションを行い貯留・浸透過程・礫部の貯留能回復について検討する。

この数値シミュレーションで用いた基礎式は、不飽和・飽和浸透流が同時に取り扱えるRichardsの式であり、有限要素法を用いて解析された²⁾。図-3と表-1に、数値シミュレーションで用いた土壌物理特性をまとめてある³⁾。なお、礫層の土壌水分特性曲線と不飽和透水係数は得られていないので、ここでは砂（poudre sand）の値を代用した。したがって、礫部の水の動きが若干緩やかになっているが、周辺部土壌の透水係数が一桁以上小さいので全体的な流況にはほとんど影響しないと考えている。

3. 1 貯留・浸透過程

(a) 浸透型（非利水型）

解析対象領域を水平方向 20m、

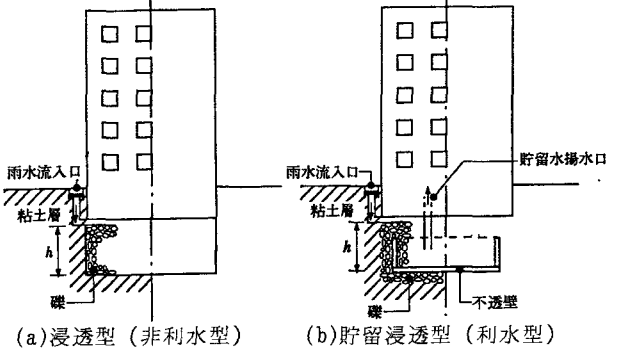
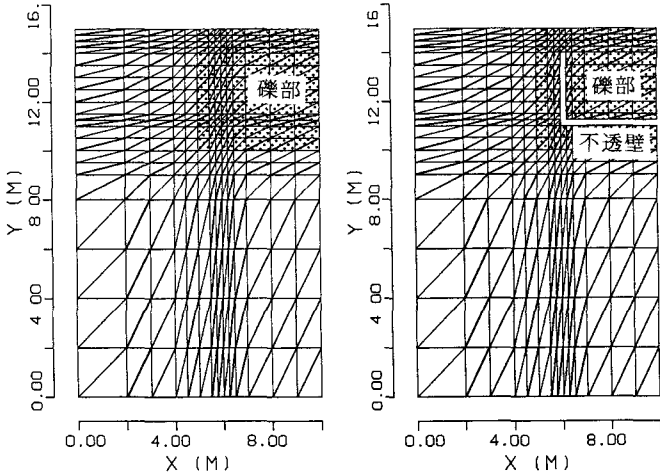
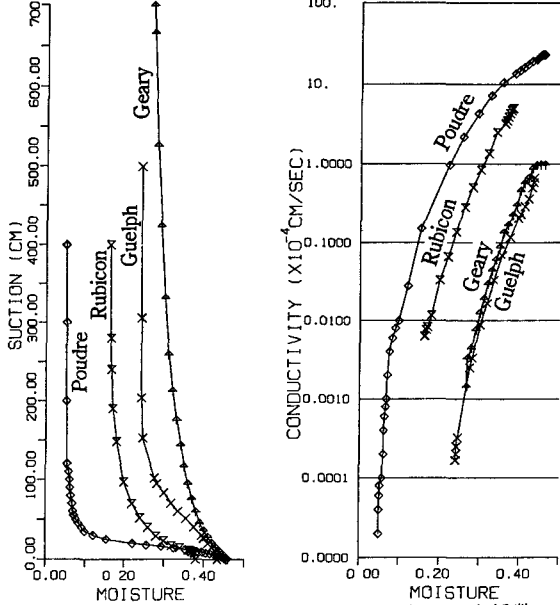


図-1 礫間貯留浸透施設の概要



(a) 浸透型（非利水型） (b) 貯留浸透型（利水型）

図-2 解析領域と要素分割



(a) 土壌水分特性曲線 (b) 不飽和透水係数

図-3 解析に用いた土壌の物理特性

鉛直方向 15mにとり、その上部中央に幅 10m、深さ 5mの礫部を設置するものとして解析を進めた。なお、流れは左右対称であるので、左側1/2を実際の解析

領域とした。図-2(a)に要素分割を示してある。この場合の、要素数は559、節点数は315であった。

境界条件として、礫部の上部表面に $0.1\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ の雨水を 20時間にわたって供給し、それ以降は供給量を0とした。仮に、礫部の長さを10mとすれば、20時間に 200m^3 の雨水が供給されたことになる。他の境界については、それを横切る流れはないものとした。初期条件は礫部、周辺土壌部ともに土壌水分圧力を -100cm とした。

図-4(a)~(d)は、地盤をGuelph Loam soil、時間増分 Δt を100secとして解析を行った結果である。斜線が密になっているところほど土壌水分は多い。図-4(a)は給水開始 12時間後の流況である。礫部が地盤と接する部分で若干の雨水が側方に浸透しているが、大部分は礫部をまっすく降下している。同図(b)は給水停止時(20時間後)の流況である。中央部では雨水は礫部を通して地盤に到達しているが、側方では横方向への流動のため到達が遅れている。同図(c)(4日後)では、雨水は礫部底にいったん溜まった状態になり、そこから地盤に浸透してい

る。同図(d)は、10日後の状態であるが、礫部の底に若干の雨水は残存しているが、ほとんどが地盤中に浸透し、その wetting front は礫部底より深さ 6m、側方 2mに達している。これらより、礫層の雨水はかなり短期間に土壌に浸透し、貯留能力の回復もかなり早いということがわかる。すなわち、礫間貯留浸透法は、透水係数が $10^{-5}\text{cm}/\text{sec}$ オーダーの地盤についても有効であるといえよう。

(b) 貯留・浸透型(利水型)

解析領域・礫部は前述の浸透型の場合と同等とし、礫部に図-2(b)のように厚さ 0.25mの止水壁を挿入して貯留槽を造り解析を行った。なお、貯留槽は、深さ2.75m、幅3.75mである。境界条件として、図-2(b)の $x=6.0\text{m}$ から $x=10.0\text{m}$ の貯留槽上部に $0.1\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ ($100\text{mm}/\text{hr}$)の

表-1 解析に用いた土壌の飽和透水係数と間隙率

土壌の種類	透水係数 (cm/s)	間隙率
Poudre fine sand	0.00388	0.487
Rubicon sandy loam	0.0005	0.380
Geary silty loam	0.000097	0.46
Guelph loam	0.0000667	0.434

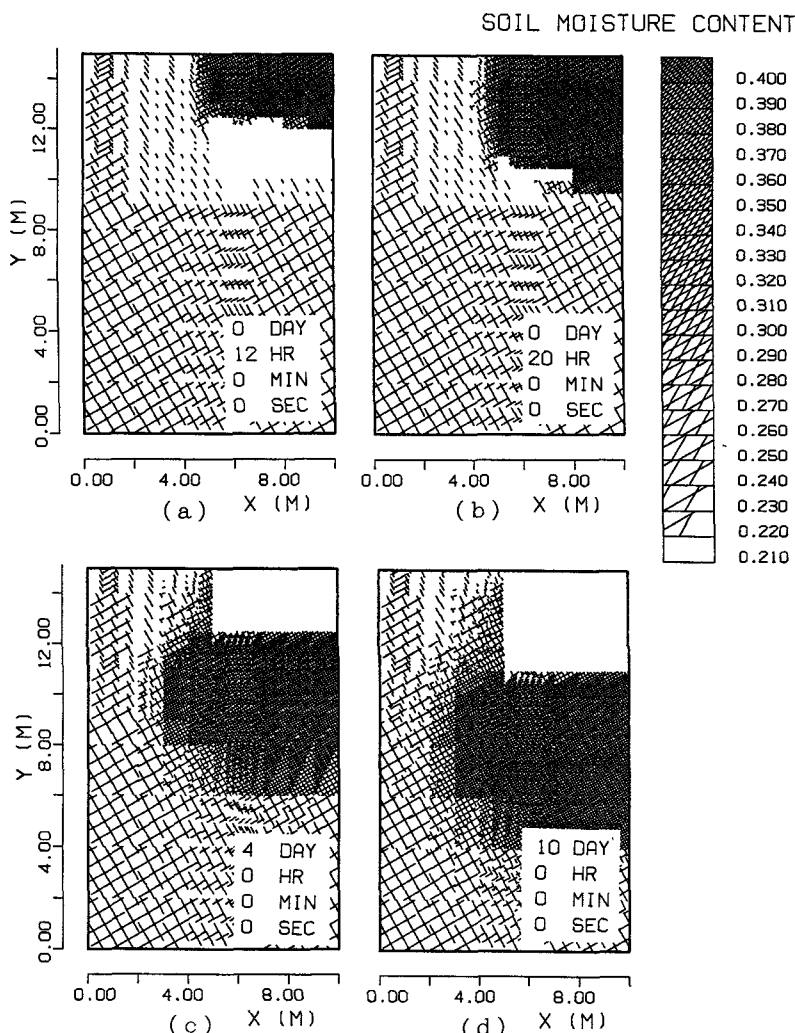


図-4 浸透型の貯留・浸透状況(数値解析結果)

雨水を 20 時間にわたって供給した。いま、礫部の長さを 10m とすれば、貯留槽に 150m³ の雨水が供給されたことになる。他の境界条件は浸透型の場合と同じである。むろん、止水壁を横切る流れは存在しない。

図-5 (a)~(d)はこうにして得られた土壌水分分布である。給水を開始してから 12 時間後 (図-5 (a)) には、雨水は貯留槽上部にあり、主として礫層中を降下している。ただし、止水壁の上部 (0.25m) に達した雨水は外側に流出している。同図(b)は給水停止時 (20 時間後) の土壌水分分布である。貯留槽とその上部は飽和状態にあり、雨水の一部が周辺の礫部にこぼれている。同図(c)は 3 日後の状況である。貯水槽より周辺礫部へ雨水はこぼれ、貯留槽上部の水は減少している。また、こぼれた水は礫部の一部に溜まり、そこから

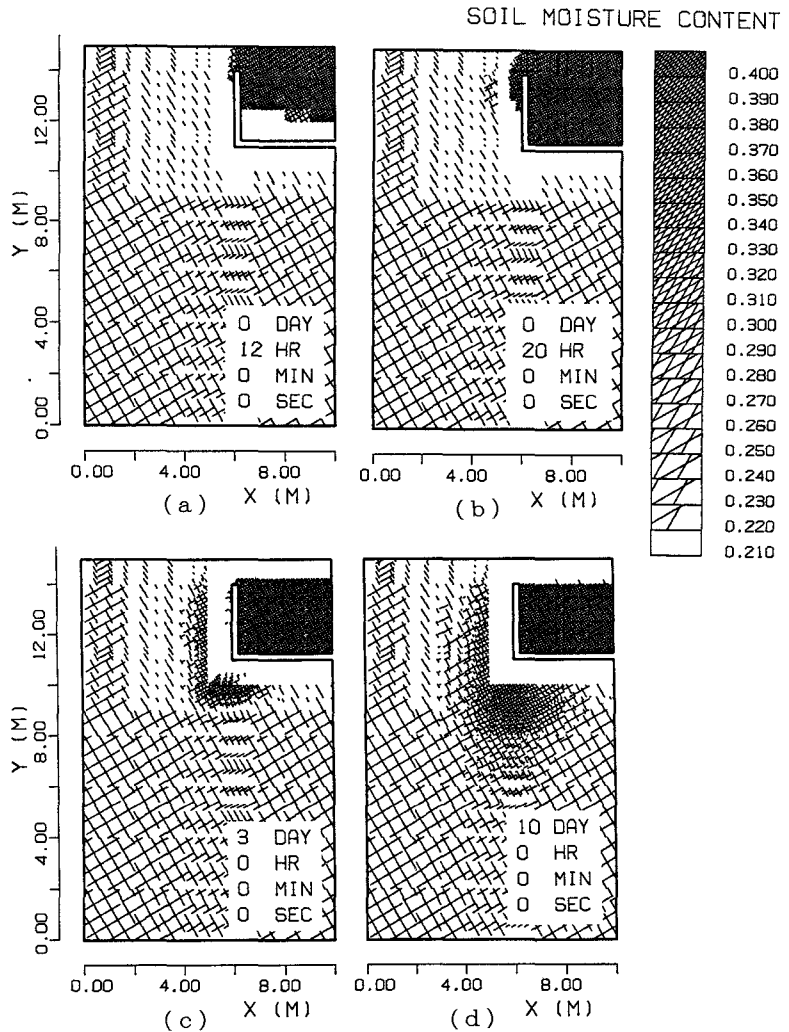


図-5 貯留浸透型の貯留・浸透状況 (数値解析結果)

ら地盤中に浸透している。同図(d)は 10 日後の状況である。貯留槽中には雨水が貯留されているが、周辺の礫部の水は消失し、地盤に移っている。なお、貯留槽 (深さ 2.75m、幅 7.0m、長さ 10m、礫部の間隙率 0.486) 中には、100m³ の水が蓄えられ、これらのほとんどは揚水利用が可能である。

3. 2 地盤の透水性と貯留能回復

礫間貯留浸透法の出水抑制効果は礫部の貯留能力すなわち空き容量に依存する。ここでは、浸透型 (非利水型) について透水性の異なる Rubicon sandy loam, Geary silty loam, Guelph loam の 3 地盤を対象として数値実験を行い、礫部の貯留能の回復について調べることにする。この数値実験では、地盤の土壌物理特性を除いて 3. 1 (a) と同じ計算条件を用いている。図-6 は各地盤における礫部の貯留能 (空き容量) の時間変化である。横軸は降雨停止後の経過時間である。縦軸は、無次元表示の貯留能であり、(1) 式で算出される。

$$V/V_o = (V_o - \theta_o) / V_o \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 V_o : 礫部全体の間隙容積、 θ_o : 礫部全体の土壌水分量、 V : 礫部の空き容量 ($V_o - \theta_o$)。

図-6 によると、地盤の透水性が大きいほど貯留能の回復は速く、Rubicon sandy loam の場合には約 2 日

後、Gearysilty loam の場合には約9日後に礫部からすべての水が排除されている。ただし、Guelph loam の場合には9日後にも2割弱の間隙に水が残存している。しかし、透水性の悪い地盤でも、初期の回復は速い。すなわち、降雨停止50時間後には、Geary・Guelph 地盤でも貯留能は、約1/2に回復している。これは、礫間貯留浸透法が2山降雨などに対してもかなり対応しうることを示しているといえよう。

4. 城南荘住宅団地流域への適用

4.1 解析対象流域の概要

礫間貯留浸透施設を、宇治市のほぼ中央に位置する城南荘流域（図-7）に設置するものと仮定し、出水抑制効果を検討する。

この流域は、丘陵地に造成された宅地域であり、雨量・水位計の設置地点の流域面積は8.8ha、このうち不浸透域は5.8ha、浸透域は3.0haである。流域内に自然河川は存在せず、雨水はコンクリート水路に排水される。なお、雨量・流出量の分析結果より、基底流量は下水流出であり、降雨流出は表面流出のみであることが分かっている。さらに、現地調査により、この流域内にある児童公園の土壌の透水係数は $7.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 、間隙率は0.40であり、図-8の土壌物理特性を有していることが明らかになっている。

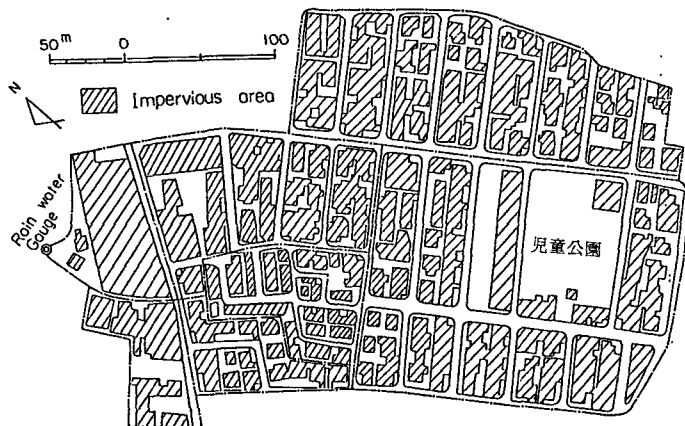


図-7 城南荘住宅団地流域の概要

4.2 設置効果

城南荘流域には、上流部に面積が約4000m²の児童公園があるので、その地に幅10m、深さ5m、長さ50mの浸透型礫間貯留浸透施設を設置するものと仮定する。なお、間隙率を0.487と仮定すれば、貯留能は約1200m³である。解析対象を1984年8月27日14時40分から16時10分の降雨とする。この降雨については、流出解析が行われており、全雨量60mm、全流出量3792m³、不浸透域よりの流出高60mm、浸透域の流出高12.1mmという結果が得られている⁴⁾。

図-9に、礫間貯留浸透施設を設置した場合の流出ハイドログラフを流出解析結果とともに示してある。この計算では、1.54m³/sのピーク流量を1.18m³/sに抑制することができた。また、施設設置地点（集水面積：1.67ha）の全流出量（957m³）が貯留浸透させた。

5. 礫間貯留浸透法の特長と今後の課題

礫間貯留浸透法の特長は次のとおりである。

(1)可能貯留量が礫層の厚さと間隙率とを用いて近似的に算定できるため、洪水対策を計画する立場から受け入れられやすい。

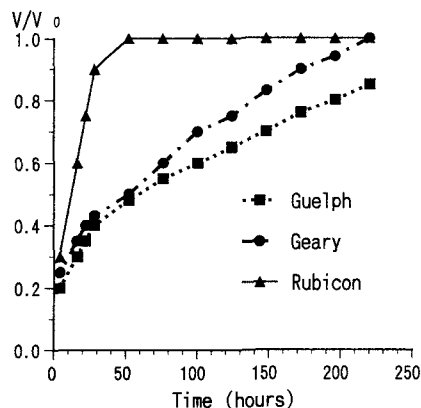


図-6 貯留能の回復

(2)貯留した雨水は雑用水として有効利用できる。現地貯留であるため地震時などで外部から水の供給が途絶えた際に非常用水源として利用できる。

(3)貯留浸透施設の上部は、通常の土地として利用できる。地下に貯水タンクを設ける場合には、破損の危険性があるが、礫間貯留浸透法はその心配はない。

(4)雨水を地下へ浸透させることにより、地下水の涵養を図り、地中生態系を保全するとともに河川平常水の確保に寄与する。

(5)地中に貯水タンクを設置する場合にくらべて、地中に礫を充填して貯留槽を形成するだけであり、施工が容易で経済的である。コンクリート構造物の廃材なども利用できる。

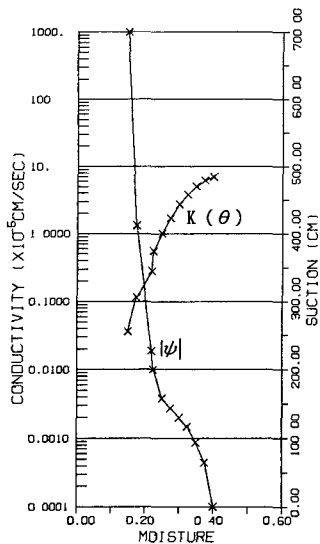


図-8 城南荘流域の土壌物理特性

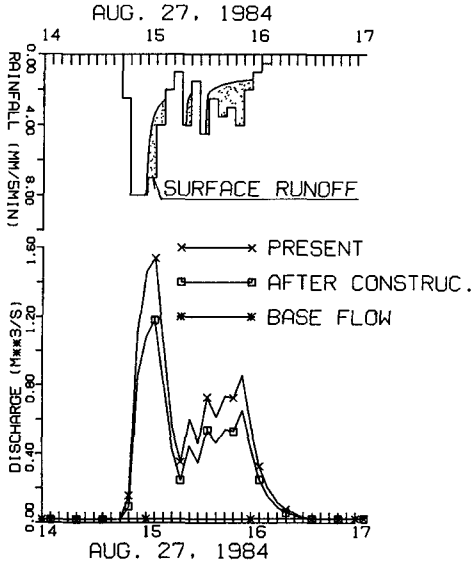


図-9 流出抑制効果

礫間貯留浸透法の歴史は浅く、十分な検討が行われているとはいえない。今後普及するに伴って問題が発生する可能性もあろう。現段階で考えられる問題点をまとめると次のようである。

- (1)雨水浸透法にくらべて透水性の低い地盤でも適応しうが、礫間貯留浸透法の効果は、地盤の透水性に支配される。設置に際しては十分な調査が必要である。調査法の確立が望まれる。
- (2)礫間の目詰まりによる劣化が問題である。
- (3)地下水の高い地域では、貯留量・浸透量が期待できない。
- (4)丘陵地では雨水浸透を強化することによって、斜面・崖崩れなどの災害を引き起こす要因になりかねない。
- (5)排水のよくない住宅地では、床下が湿気る等の衛生上の問題もある。

6. あとがき

本文には、雨水流出抑制・環境用水・非常用の水源の確保を目的として、礫間貯留浸透法について数値シミュレーションを行い、貯留浸透過程・貯留能回復・設置効果について検討した結果をまとめている。議論が浸透型に偏り、利水型については貯留浸透過程を示すに止まっている。今後の課題としたい。

参考文献

- 1)例えば、虫明・石崎・吉野・山口編：水環境の保全と再生、山海堂、pp.188-190,1987.
- 2)Neuman, S.P.: Saturated-Unsaturated Seepage by Finite Elements, Proc. A.S.C.E., vol. 99, HY-12, pp.2233-2250, 1973.
- 3)岡 太郎：埋管浸透法による出水抑制、自然災害科学、Vol. 7, No. 3, pp.23-35, 1988.
- 4)Oka, T.: Simplified Calculating Model of Rainfall Infiltration and its Application in Rainfall Runoff Analysis in Residential Area, Proc. 6th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Vol.1, pp.585-589, 1993.