

# 流出抑制技術の構築に向けた表層状態が 土壌の浸透・保水力に及ぼす影響に関する研究

九州大学工学部  
九州大学大学院工学府  
九州大学持続可能な社会のための決断科学センター  
九州大学大学院工学研究院

学生会員 小河原 洋平  
学生会員 岩永 祐樹  
正会員 巖島 怜  
フェロー会員 島谷 幸宏

## 1. 背景および目的

都市化は流出構造を変化させ、洪水ピーク流量の増大、平常時の河川流量の減少、合流式下水道の雨天時越流水 (CSO) 等、治水、利水、環境に様々な課題を生じさせている<sup>1)</sup>。日本では近年、局所的短時間降雨により都市型水害が全国で頻発している。気候変動に関する政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel On Climate Change) が発表した第五次評価報告書では、中緯度の陸域において局所的集中豪雨がより強く、頻繁となることを指摘しており、都市型水害は増加するものと考えられる。都市型水害の要因としてはコンクリートやアスファルトの土壌被覆による浸透域の減少が挙げられるが、実際に都市部で浸透域を増やすのは困難であるため、現存する浸透域の浸透能を改善し、流出抑制を図る技術が必要である。

また、自然界で観測される降雨強度は、土壌の初期浸透能を超えることは滅多にないとされているが<sup>2)</sup>、実際には表面流出は頻繁に発生している。これは、土壌表層の構造が変化することで、浸透能が低下していることに起因すると考えられる。表層構造の変化に関する現象として、クラスト形成及びキャピラリーバリアが挙げられる。クラストは自然降雨の雨滴衝撃によって団粒を形成していた細粒分が表層の間隙に入り込み目詰りを起こす現象(図-1)であり、キャピラリーバリアは土壌の持つ毛管力により細粒分と粗粒分の境目で水が捉えられ浸透が妨げられる現象(図-2)である。

本研究は、土壌の浸透能を改善することで流出抑制を図る技術を構築することを最終目的としている。本稿では、その前段階として、土壌の表層構造の変化が浸透能に及ぼす影響を評価するため、屋内における土壌の乾湿の繰り返し試験及び屋外での自然降雨による流出試験を行った。

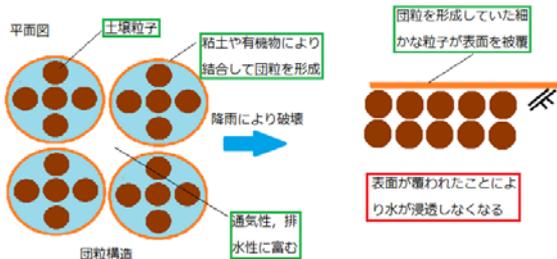
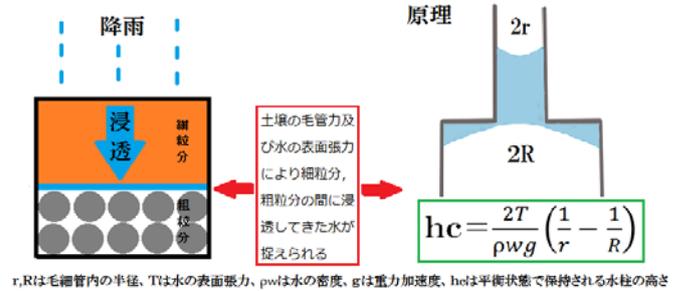


図-1 クラスト形成の概要



$r, R$ は毛細管内の半径、 $T$ は水の表面張力、 $\rho w$ は水の密度、 $g$ は重力加速度、 $hc$ は平衡状態で保持される水柱の高さ

図-2 キャピラリーバリア概要

## 2. 方法

### 2.1 乾湿の繰り返し実験 (屋内実験)

降雨と乾燥の繰り返しによって、キャピラリーバリアが発生する可能性があることから、人工的に乾湿を繰り返し、浸透能の変化をモニタリングする人工降雨実験を行った。図-3に実験装置の概要を示す。既往研究において竹チップ、腐葉土を混入することで土壌の浸透能が改善されることから、今回試料として、真砂土、体積比率で腐葉土30%を混入した真砂土、竹チップ30%を混入した真砂土の計3種類を絶乾状態で使用した。実験は上部の噴霧器から100mm/hrの水を試料に散水し、表面流出量を雨量計により10秒間隔で測定する。土壌表層から30cm深さの体積含水率を土壌水分計により10秒間隔で測定し、最下段のセンサーの体積含水率が一定となった段階で実験終了とした。土壌水分計はCampbell Scientific社製CR800、雨量計はOnset社製RG3-Mを使用した。

乾湿の繰り返し実験より得られた表面流出量、浸透量のグラフをもとに初期浸透量、最終浸透能を求めた。初期浸透量は、表面流出が起こるまでに土壌に浸透した水の積算量と定義した。最終浸透能は、 $t \rightarrow \infty$ における浸透能を示すものであるが、本実験では浸透量をHorton式(式-1)で近似し、 $t=300$ 分の値を読み取った。

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (\text{式-1})$$

ここで、 $f$ : 浸透量、 $f_0$ : 降雨開始時の浸透量、 $f_c$ :  $t \rightarrow \infty$ での浸透量 (最終浸透能)、 $k$ : 減衰係数、 $t$ : 時間

### 2.2 自然降雨による浸透能の連続観測 (屋外実験)

屋内実験では雨滴の終端速度を再現できない為、屋外にお

ける自然降雨を用いた。降雨の繰り返しによりクラスト形成が発生することから、継続的に土壌水分を測定することで浸透能のモニタリングを行う実験を行った。図-4に実際に使った実験装置の概要、図-5に実験ケースの概要を示す。シリンダーは塩ビ管、土壌水分計はDelta-T Devices社製のHH2 moisture meterを使用した。実験はシリンダーに改良土を充填し、土壌の体積含水率を測定した。体積含水率の測定間隔は、無降雨時は12時間置きに、雨天時は1時間置きに行った。

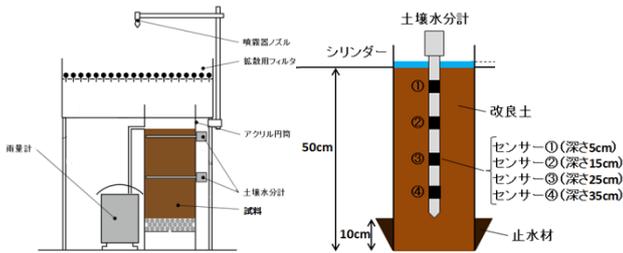


図-3 人工降雨実験装置

図-4 屋外実験の概要

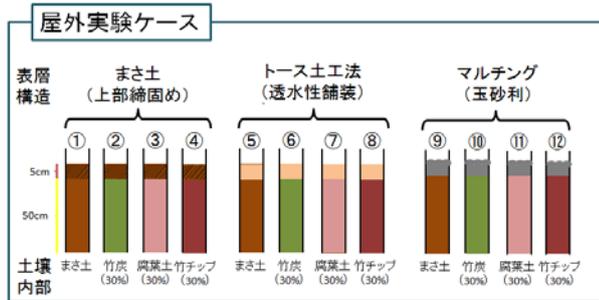


図-5 自然降雨実験ケース

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 乾湿の繰り返し実験

実験の結果、得られた初期浸透量を図-6に示す。全てのケースにおいて、1回目の浸透量が最大であった。2回目以降、真砂土は約1/4、腐葉土は約1/6の浸透量しか有していない。一方、竹チップは4回目以降も高い浸透量を有し、1回目の値と比べ約3/4程度と減少幅が小さかった。

実験の結果得られた最終浸透能を図-7に示す。1回~6回の降水を通じ、腐葉土はほぼ一定値を示しているが、他の2種の土壌は値が上下し、変動が大きい。竹チップ及び腐葉土を混入したものは、3回目、4回目を除き真砂土と比べ、5~15mm/hrほど高い値を示しており、時間100mm/hr程度の降雨があっても、高い浸透能を示すことが明らかとなった。また、材料ごとに最終浸透能の値にばらつきが出るのは、回数が不足していることなどが原因として考えられるため、実験を継続して行い、経過を観察していく。

初期浸透量について、1回目の実験以降、値が大幅に低下しているのは、使用した材料が絶乾状態のものであり、2回

目以降と実験時の体積含水率が異なるためと考えられる。

改良材の違いによる、浸透能の違いに着目すると、初期浸透量は、腐葉土より竹チップが優れている。これは、団粒構造の違いが影響していると考えられる。腐葉土は、柔らかいため、締め固め時に間隙が圧縮され、生じる間隙が小さいが、竹チップは材質が固く、締め固めを行っても間隙が土粒子との間に多く存在し、その結果、浸透力が高いものと考えられる。

キャピラリーバリアの検証は、実験がすべて終了した際に、上層及び中層の土壌を採取し、粒径分布を調べることで行う。乾湿の繰り返しによる浸透能低下は未だ観測されていないが、回数不足が一つの原因と考えられるので、継続して実験することとする。

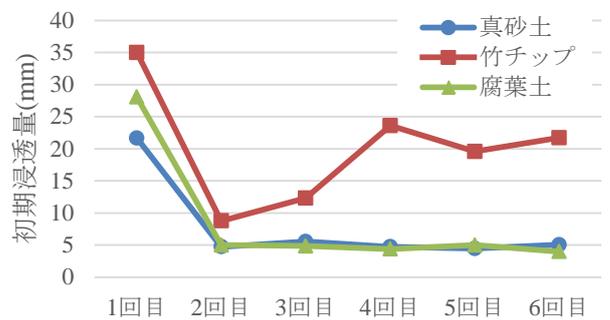


図-6 初期浸透量

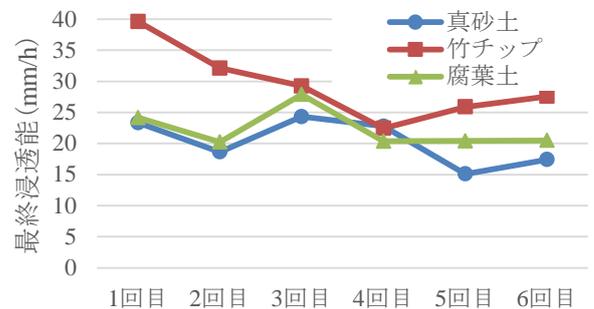


図-7 最終浸透能

#### 3.2 自然降雨実験

現在、土壌4種類×表層3種類の計12種類の試料を用い、計測を開始している。継続して観測を行っていき、発表時にその結果を報告する予定である。

#### 参考文献

1) Walsh CJ., Roy AH., Feminella JW., Cottingham PD., Groffman PM. and Morgan RP., The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure, Journal of the North American Benthological Society, vol.24, No.3 (2005), pp 706-723.  
 2) Wilfried Brutsaert, (杉田倫明 訳) 水文学, 初版 2008, pp270