

屋上緑化雨水貯留遅延量の検討（結果報告書）

2017年3月7日

公益財団法人 都市緑化機構
特殊緑化共同研究会 技術評価分科会

1. 概要

屋上緑化で使用される植栽基盤土壌は、雨水の貯留や遅延浸透させる能力を有している。今回は、土壌中の重力水の動向に注目し、雨水の貯留遅延浸透効果に着目して試験を行なった。本成果は公益財団法人東京都都市づくり公社からの助成金を得て試験を進めたものである。その結果その量は、基盤土壌厚と土壌の粒子構成によって変化することが分かった。それらを踏まえて屋上緑化の雨水貯留遅延効果を、どのような形で明記するのが望ましいか検討したい。

2. 屋上緑化における効果の概要と基本条件

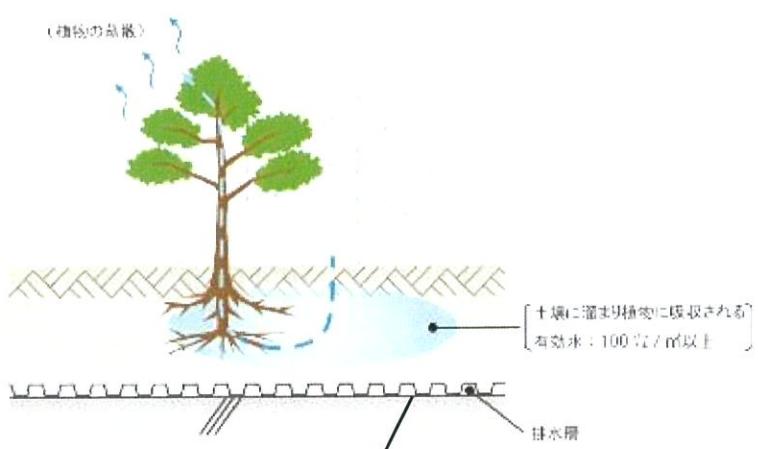
まず、屋上緑化で認識されている雨水貯留効果について概要を述べる。

(1) 効果の概要

○土壤の保水能力（有効水分量）

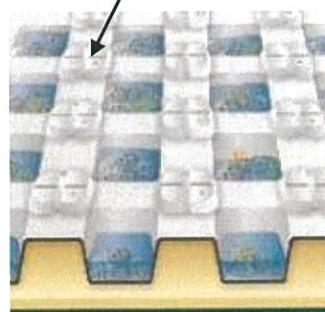
【土壌に蓄まり植物に利用される有効水】

雨水を土壌中に貯めこみ、植物に
吸収され蒸散する有効水分。
通常屋上緑化用の土壌であれば、
100 リットル/m³以上は有している。



○排水層の貯水能力

排水層は、土壌からの排水を速やかに行なう機能の他、水分を貯留する機能を有するものもある。貯留する量は 3~10 リットル/m³程度である。



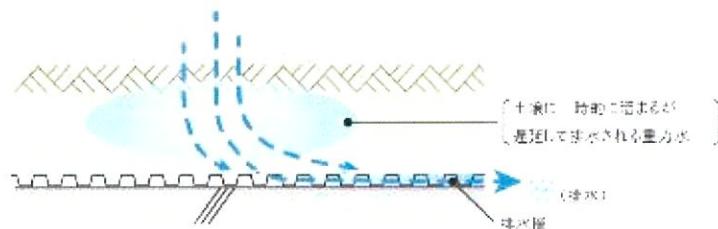
○植物の形状による雨水貯留遅延能力

土壌に植えられた植物の葉や枝の形状によって、雨水が植物に留まり貯留や遅延して排水される能力を有する。

○土壌の重力水の遅延能力

【土壌の重力水による雨水遅延効果】

土壌中の粗間隙に一時的に留まり排水される重力水。土壌厚が厚くなるほどその量は増大すると予想されているが、その数値がどの程度か測定した実績が無い状態



今回の試験は、土壌重力水に絞った効果を明らかにすることを目的とする。

(2) 屋上緑化で使用する土壌の基本条件

以前検討作成した「建築物緑化の手引書」の屋上緑化用土壌の物理性条件は主に3つある。

○飽和透水係数の制限

$2.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 以上の人工土壌 (50mm 降雨を1時間で排水できることを条件)

○保水能力の制限

有効水分量 (pF1.5~3.8) が 100 ドル/m^3 以上 (優良値が 200 ドル/m^3)

(重力水を重視し過ぎると、保水能力が低減するのを防止)

○建築への負担軽減

湿潤状態で比重が 0.6~1.1 以下

(軽量であると飛散しやすく、重いと建築物への負担が大きい)

この条件の下、土壌重力水の動向を調べる試験を行なった。

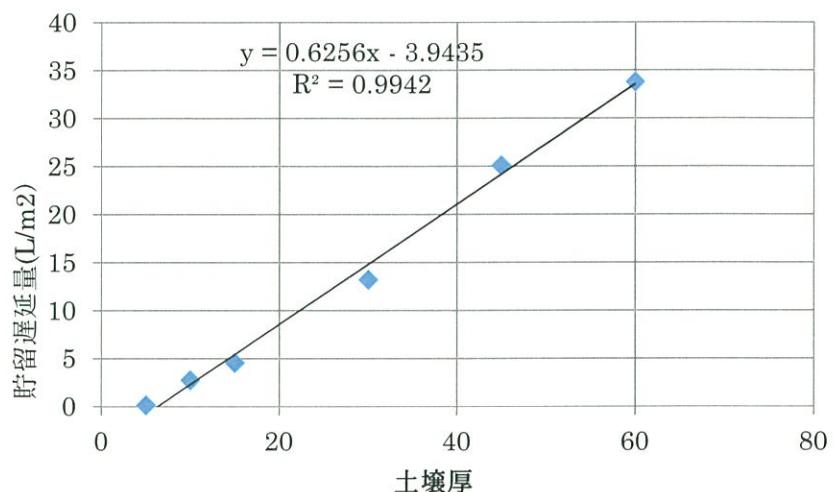
3. 土壤重力水の雨水貯留遅延効果の結果

土壤厚別の試験結果を下記に示す。

(1) 基盤土壤厚別の試験結果

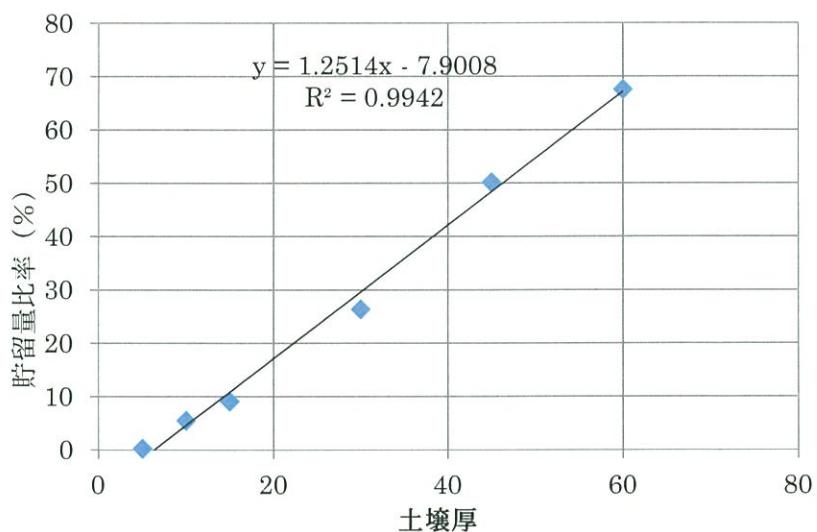
試験結果から、次の回帰式が成立した。これに則って遅延量を算出することが出来る。

土厚	貯留遅延量
60	33.8
45	25.1
30	13.2
15	4.56
10	2.76
5	0.14



また今回 50mm 降雨を 1 時間行なった結果でまとめたところ、全体の降雨量の何割程度が貯留されたのかを表記すると次のようにになった。

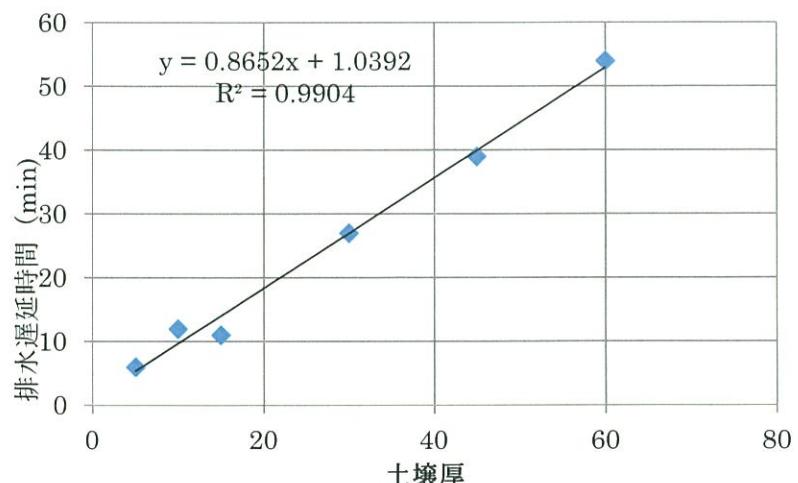
土厚	貯留量比率
60	67.6
45	50.2
30	26.4
15	9.1
10	5.5
5	0.28



(2) 雨水の遅延効果について

屋上緑化が無いコントロール区と比較して、屋上緑化区がどれだけ遅延した排水されたかを測定した結果を示す。土壤厚が大きければ、その数値も大きくなる。

土厚	排水遅延時間
60	54
45	39
30	27
15	11
10	12
5	6



4. 土壤重力水の貯留遅延効果量の算出方法について

算出方法としては、次の方法が予測される。

$$\text{土壤の雨水貯留遅延量 (mm/m^3)} = 0.6256 \times \text{土壤厚 (cm)} - 3.9435$$

(1) 土壤厚の考え方

*定義：ある一定の締め固めを行なった状態（踏圧程度の締め固め）における土壤の仕上げ厚で、排水層やマルチング層は含まない。また、土壤厚が場所によって変化する場合は、平均して土壤厚を算出する。平均値の算出方法は下記の通り。

- ①屋上緑化の面積を測定する。
- ②土壤厚が異なるエリアを区分し、エリアごとの面積の%を算出する。
- ③土壤厚と算出した%を掛けて、トータルの足し算で平均土壤厚を算出。

(例) 屋上緑化面積 100 m²

土壤厚 60cm エリア 50%

土壤厚 40cm エリア 30%

土壤厚 30cm エリア 20%

よって、 $60 \times 0.5 + 40 \times 0.3 + 30 \times 0.2 = 48\text{cm}$ (平均土壤厚)

*ただし土壤の種類が異なる場合は、種類別に分けて平均土壤厚を計算。

(2) 屋上緑化で一般的な人工土壤の算出方法

回帰式が成立した土壤は、広く一般的に使用されている人工土壤であり、その前述の土壤厚における雨水貯留遅延量は下記の通り。

(例) 平均土壤厚が 48cm の屋上緑化における雨水貯留遅延量は下記の通り。

(回帰式 0.6256X-3.9435 で算出)

$$0.6256 \times 48\text{cm} - 3.9435 = 26.1 \text{ mm/m}^3 \text{ (少数第2位を四捨五入)}$$

5. 今年度の取組み成果と今後の展開

今年度従来の自主財源の他に、公益財団法人東京都都市づくり公社から受けた助成金を加えて、東京都都市整備局に対して屋上緑化の雨水貯留浸透効果について提案し、手引き書をまとめていくための成果を得ることが出来た。主な成果は下記の通り。

○土壤厚比較試験から回帰式が成立し、土壤厚別の雨水貯留遅延量を求める算定方法を得た。

○土壤厚比較試験から回帰式が成立し、土壤厚別の遅延時間を求める算定方法を得た。

○土壤粒度比較試験から、土壤の粒度構成の違いによって雨水貯留遅延量は変化することを得た。

○土壤粒度比較試験から、土壤厚 450mm の場合、50mm/h 降雨と 75mm/h 降雨とによる雨水貯留遅延量は、ほぼ同等であることが分かった。

今後はこれらの成果を裏打ちする試験を再度行い手引き書としてまとめて、都市緑化機構でそれらを精査し公表していく予定である。それによって都市開発における東京都の雨水貯留浸透量の算出に、屋上緑化も併用して加えられるような状況を確立してゆきたいと考えている。

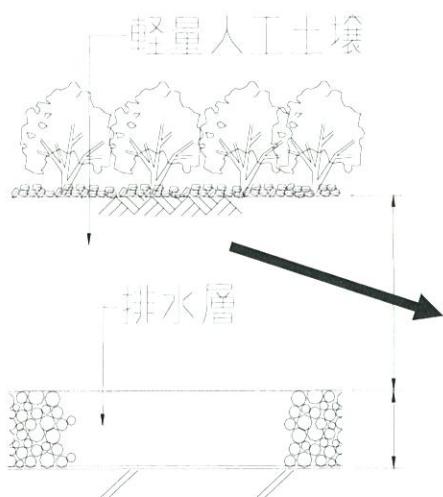
6. 試験詳細

6-1 屋上緑化雨水貯留量の考え方

今回雨水貯留浸透量を算定するに当って、屋上緑化の土壤に着目した。

緑化では土壤は必ず使用されるもので、植物に水を与える貯留機能を有している。また余分な水分は排水され、一定の保水状態を維持して植物に水を供給している。排水層も同様な機能を有するものも存在するが、今回は土壤に絞って研究を行なった。

これらを整理すると、土壤に含まれる水分は、次の3つに分類される。



- ① 土壌粒子に吸着された水分で植物の根も吸収することができないもの 吸着水
- ② 土壌中に留まる水分で、植物の根が吸収することができるもの 有効水
- ③ 土壌中に一時的に含まれる水分で、24時間程度でほぼ排水されてしまうもの 重力水

このうち吸着水と有効水は、植物の根による吸水か、熱による蒸散で土壤中から無くなる。しかしそれ以外の条件では変動し難い水分と考えることができる。植物の生育を考える上では、この有効水分量の大きさが重要視されるが、雨水貯留浸透を検討する上では、判断し難い水分とも言える。

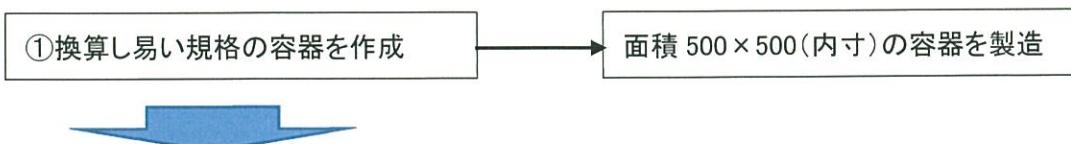
のことから、土壤に含まれた水分で、繰り返し雨水貯留機能を有する条件化では、重力水を重要視して検討を行なう必要があると判断した。土壤における雨水貯留浸透量が変化する要因としては、主に次の2つを考えた。

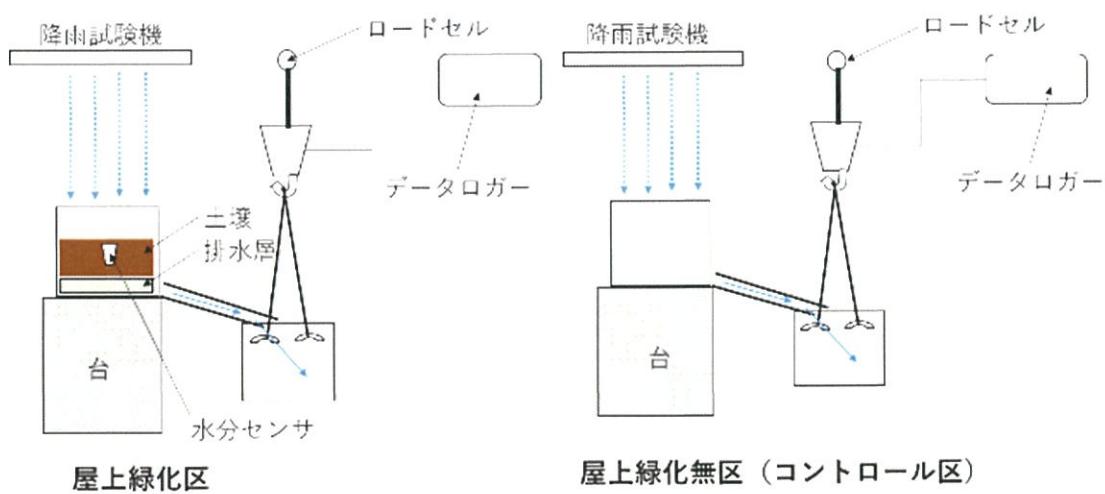
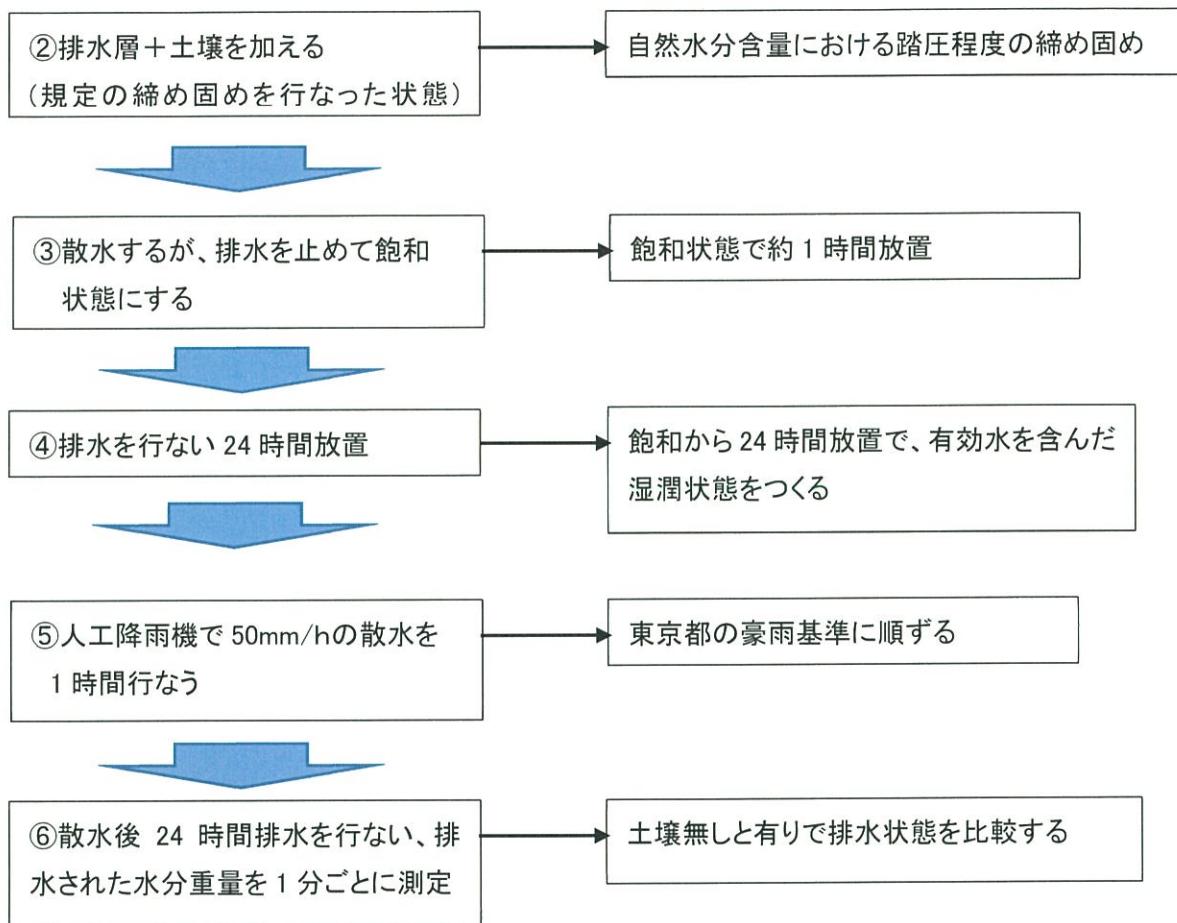
- (1) 土壌の厚さによって、違いが生じるのではないか？
- (2) 土壌を構成する粒度によって、違いが生じるのではないか？

この2点を中心に、効果量の測定試験を行なうこととした。

6-2 試験方法

試験方法を検討する上で、まず試験手順を検討した。試験手順は下記の通り。





試験としては、昨年から4回の試験を行なった。今年度は次の2つの試験になる。

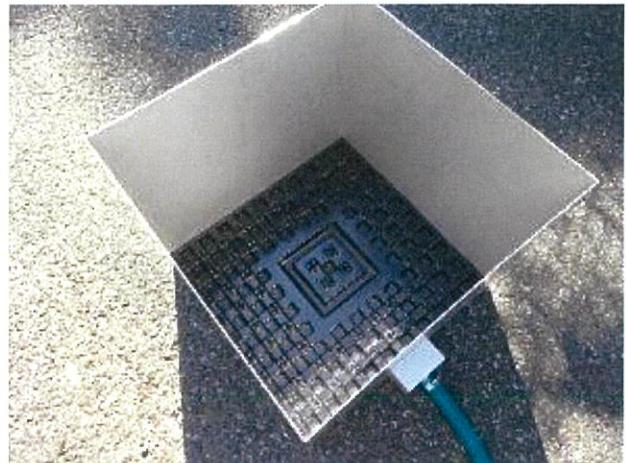
- 第3回：土壤厚の違いによる雨水貯留遅延量比較試験
- 第4回：土壤粒度構成の違いによる雨水貯留遅延量比較試験

6-3 試験状況

試験の状況を写真で示す。



人工降雨機の状況



内寸 500×500 のコンテナ状況



降雨試験の状況(土壤別試験)



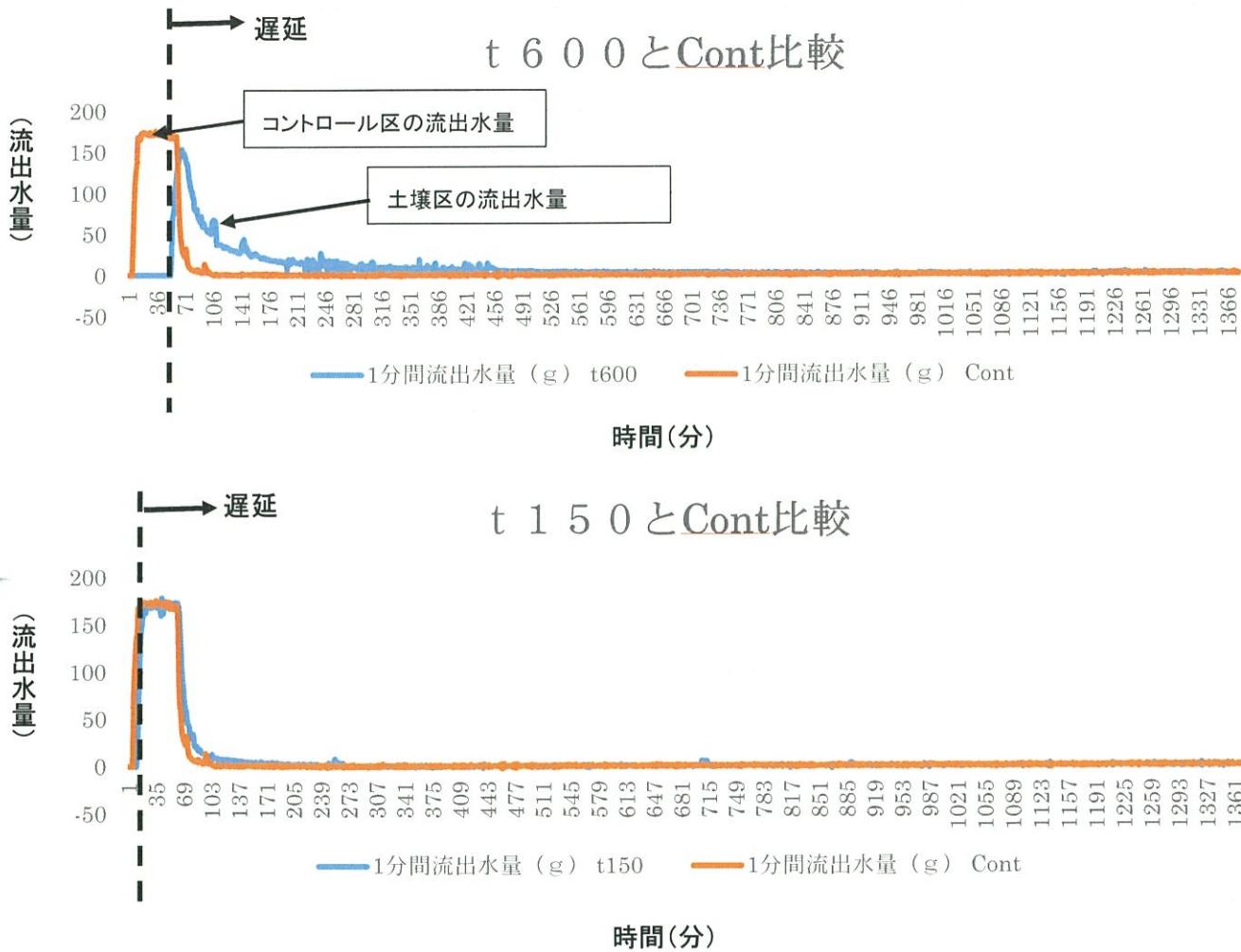
コンテナからの排水状況(土壤別試験)

6-4 試験結果について

試験した結果を報告する。

(1) 土壌厚による雨水貯留遅延効果の相違

今回土壌を有機無機混合人工土壌（ビバソイル）に統一して試験を行なった。土壌厚は t100、t150、t300、t450、t600 の 5 タイプを設け、土壌無しのコントロール区を加えて試験を行なった。t150 と t600 の試験結果を示す。



湿潤状態における人工土壌の pF 値は約 1.5 であった。その状態で降雨を始めたところ、pF1.0~0.8 程度で排水が始まった。排水が行なわれている間は、その状態が続き、排水が終了すると pF 値は上昇した。また土壌厚が大きいと、土壌の深さによって pF 値は変化していた。深い位置（排水層に近い位置）ほど pF 値は下がっていた。

まだ中間報告ではあるが、土壌厚が大きいほど雨水貯留遅延量は増加すると判断してよい。その効果量は、土壌の種類によっても相違があると思われた。

(2) 土壌の種類による雨水貯留遅延効果の相違

次に、土壌の種類を変えた試験を行なった。人工土壌の種類は多く存在し、その粒度も複雑である。まず傾向を確認するために、粒度の異なる軽石の土壌と粒度の異なる珪砂による試験を行なった。その種類と試験結果を下記に示す。土壌厚は 450 に統一して行なった。



1. 軽石 SS (1~3mm)

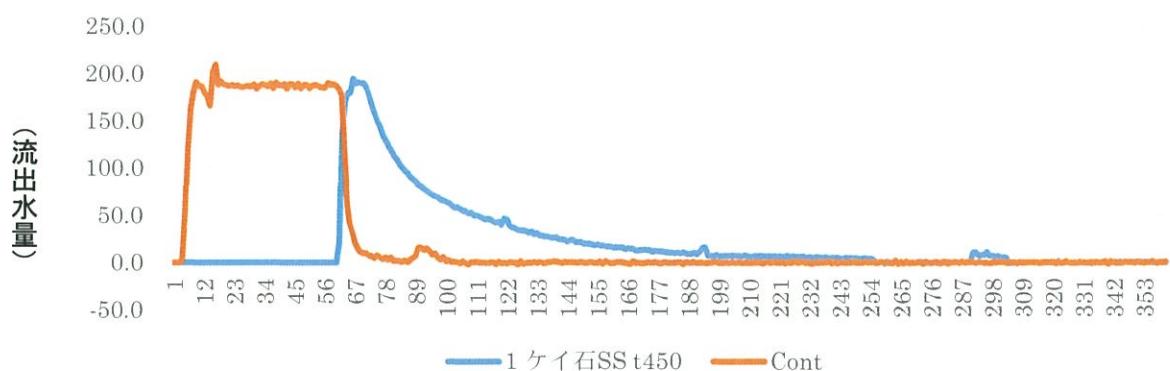


2. 軽石 S (3~6mm)

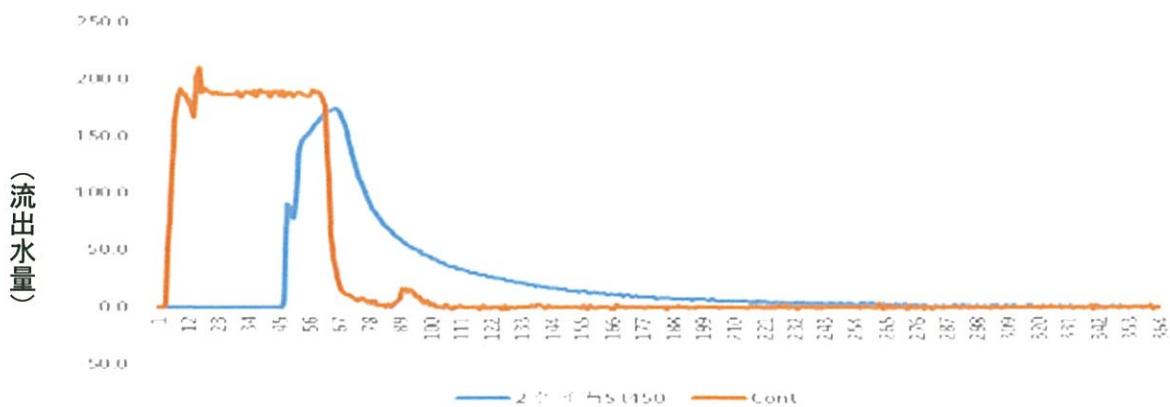


3. 軽石 M (6~10mm)

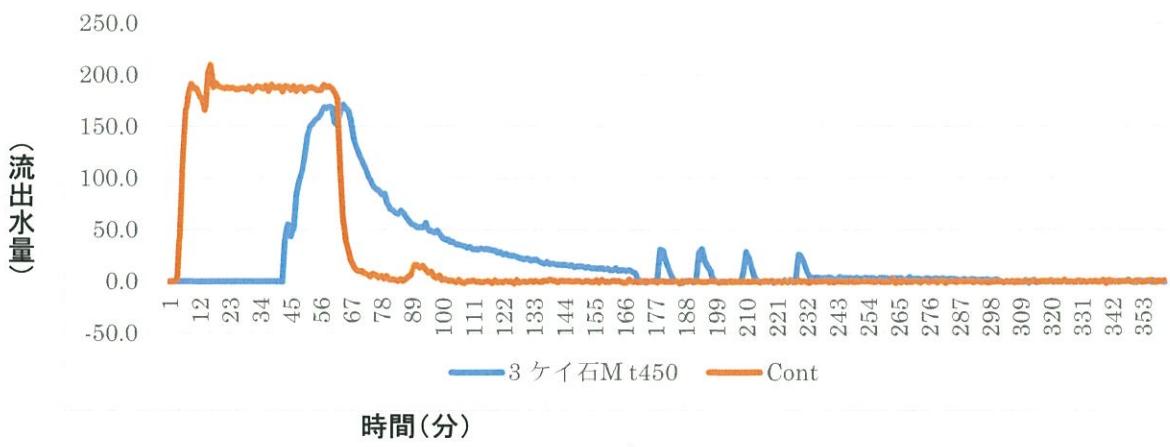
1 軽石SS t450



2 軽石 S t450



3 軽石M t450





4. 硅砂3号 (2mm 以下)

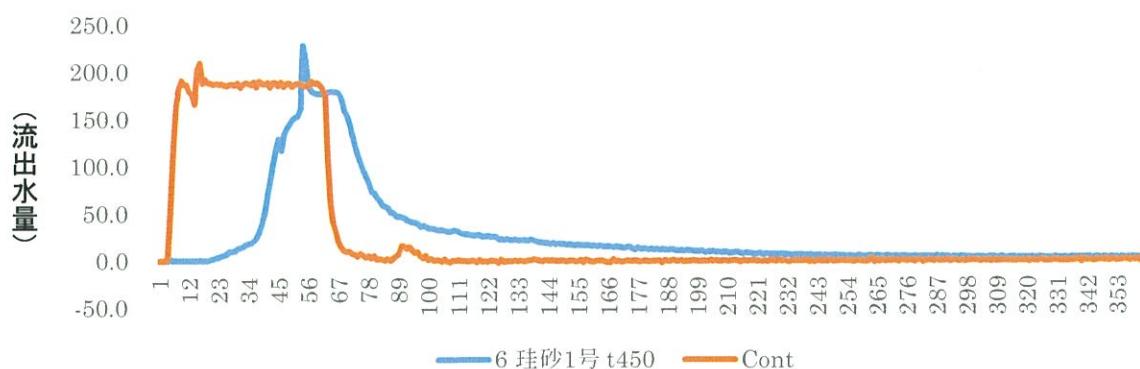


5. 硅砂2号 (4mm 以下)

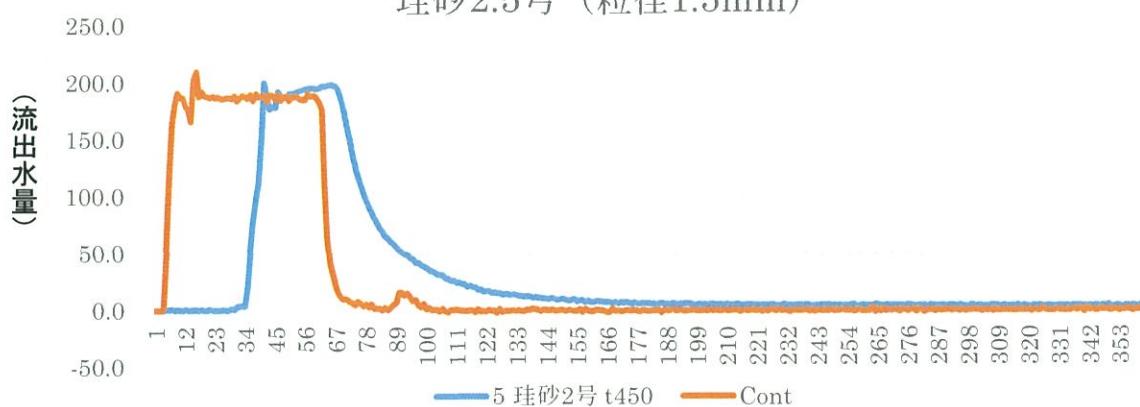


6. 硅砂1号 (5mm 以上)

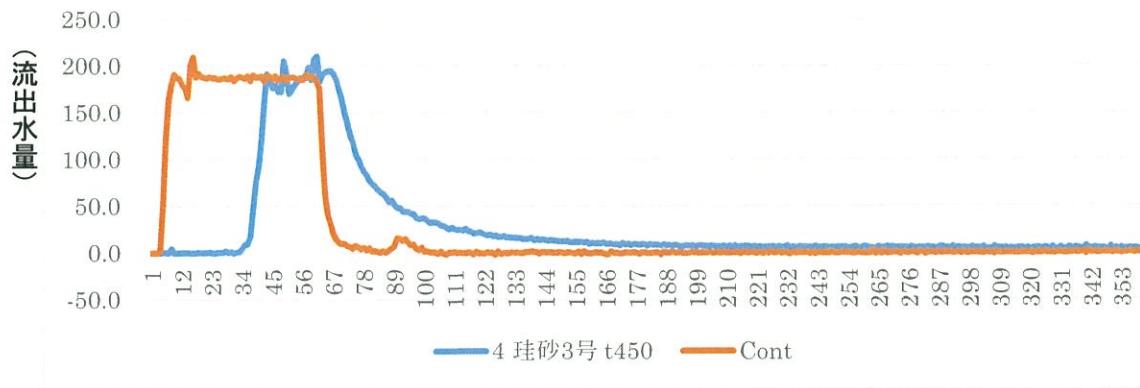
硅砂1号 (粒径2.5mm)



硅砂2.5号 (粒径1.5mm)



硅砂3号 (粒径1mm)



時間(分)

土壌の粒度としては、粒径が細かいほど雨水貯留遅延量は増加する。また軽石のように粒自体に吸水性があるほど効果が高いと思われる。粒度が細かすぎる場合は、透水係数の低下になり易く、どこまでを許容範囲か検討しなければならない。透水係数の低下は遅延性を高める要因になるが、 $1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 以上の飽和透水係数で 50mm/h の降雨をオーバーフローすることなく浸透させる。しかしそれ以下になると、植栽エリアに水が溜まり易い状況となり植物の生育に影響が出やすいので、評価は低く考える必要がある。人工土壌は様々な粒子や有機纖維などの複合体なので、今後土壌別に評価を行なうためには試験を繰り返すことが求められると思われる。

6-5 今後の試験について

手引き書のまとめ方によって変更することもあるが、現在予定している今後の検討及び試験は下記の通り。

- ① 現在使用されている屋上緑化用人工土壌のまとめと分類
- ② 分類別人工土壌の雨水貯留量試験の実施