

貯留高を用いた都市緑地の評価に関する研究

多島 秀司

正会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ (〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-4-20)

E-mail: tajima@jrnc.co.jp

屋上緑化に代表される薄層人工地盤による緑化は都市緑化の代表的な手法となってきた。屋上緑化については、熱環境の改善効果などが挙げられているが、定量的な評価が難しく、定性的な評価に留まることが多い。著者は屋上緑化の土壌に着目するとともに、雨水貯留効果に着目することで、都市環境の改善効果に関する定量的な評価方法の一つを提案する。

また、貯留効果について定水位透水試験装置を用いることで、実験室レベルで簡易に測定することが可能であることが確認できたので、その方法について報告する。

Key Words : artificial ground, greening, environmental effect, storage effect,

1. はじめに

都市環境の改善や防災の観点から、緑化が進められている。中でも、屋上緑化に代表される人工地盤による緑化は都市域の限られたスペースを有効に活用することが可能であるため、東京、兵庫、大阪に続き2007年4月から京都府でも条例化されるなど、今後も面積の増加が確実な状況にある。

著者はこれまで、緑化用薄層人工地盤に関し、緑化基盤材に着目した研究を行ってきた^{例えは1)}。

これは緑化用人工地盤の目的を考えた場合、植生だけでなく、土壌が重要な役割を果たしていることが確認できたためである。

そこで、本研究は雨水の貯留高を指標とした緑化基盤材の評価方法について検討を行った。特に、近年屋上緑化を対象とした緑化基盤材の開発が進められているが、都市環境の改善効果について言及している事例は少なく、植生の生育との観点からの評価が一般的になっている。

屋上緑化の本来の意義を考えると、都市環境との関係に着目した指標について検討する必要があると考えた。そこで、これまで行った実験結果についてもあわせて報告する。

2. 緑化用人工地盤の目的

緑化の目的について、政策面から調査を行った。

国土交通省では社会資本重点計画において、都市の防

災性の向上、地球環境への対応、豊かな街づくりと少子高齢化への対応、を挙げている。

次に、東京都では緑の東京計画の中で、都市環境の改善と防災を緑化の目的として挙げている。都市環境の改善についてはヒートアイランド緩和、地球の温暖化防止、大気浄化について言及している。また、防災については避難路や避難場所の安全性を高めることと、雨水の流出抑制を挙げている。

上記の例以外についても、官民を問わず緑化が進められ、その主たる目的は大気環境の改善、防災性の向上、アメニティー空間の創出、とするものが多い。

3. 緑化基盤材評価の意義

(1)対象土壌

前章では緑化の目的について述べた。ここでは、緑化の目的に対応付け、緑化用人工地盤における土壌評価の重要性について検討を行う。なお、緑化基盤材には土を使わないタイプのもも増えてきているが、本研究では屋上緑化や低層花壇に多い、自然土壌工法および改良土壌工法を主な対象としている。

また、屋上緑化だけでなく、オープンスペース上の小緑地なども含めた、花壇の層厚が10~20cmの薄層人工地盤を想定し、実験を行った。

(2)人工地盤における土壌評価の意義

人工地盤に関する研究成果については、屋上緑化を対象としたケースを中心として、増加してきている^{たとえば2)}。

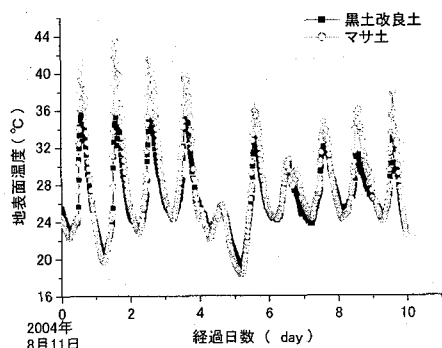


図-1 地表面温度の経時変化

それらの研究の多くは、芝生植栽を研究対象とし、その比較対象として土のみのケースを示したものが多い。

しかしながら、著者らが調べたところ、大気環境の改善効果および防災に関しては、植栽だけでなく、土質の違いによってその効果が大きく異なることが確認された。

そこで、次節以下に人工地盤の熱環境の改善効果、大気環境の改善効果に関係し、土質の違いと温度計測結果および蒸発量について調べた結果を示す。

(3) 植生用土壌の選定と試料の作製

本研究では上記のような理由から植栽を施さない状態で実験を行っている。そのため、実験用の試料については植生の生育が可能な状態にあるか、硬度や含水状態、透水係数などについて検討を行った。

硬度については山中式硬度計で20mm以下、透水係数で 1.0×10^{-5} 以上、含水状態については、圃場容水量～しおれ点に対応するpF値を実験の管理値とした。

次に、試料には関西圏の地表面に広く分布しているマサ土と、腐食性粘性土で有機質土の黒ボクを自然土壌工法の例として用いた。マサ土は滋賀県産のものを、黒ボク(以下黒土と表記)は植生用の市販のものを用了。

改良材には軽量化と透水性の改善を目的とし、パーライトを用いた。改良土壌工法としては、マサ土と黒土を主材とし、パーライトを容積比で2対1の割合で配合したものを使用した。

なお、配合および主材の選定は、施工事例や他の研究事例を参考にして決定した³⁾。

(4) 地表面温度

緑化用人工地盤の都市環境改善効果として、ヒートアイランド緩和効果が挙げられる。

そこで、人工地盤の地表面温度について、土質の違いに着目して調査した結果について示す。

a) 実験方法

土壌層厚10cm、直径20cmの塩化ビニル性のカラムに、山中式硬度計で20mm以下となるよう、小型ランマーでつき固めながら詰めた。

実験を開始する際の初期含水比は、植物の生育に良好

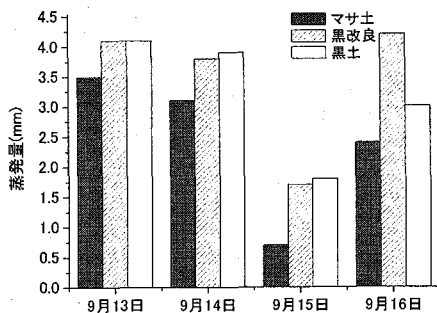


図-2 日蒸発量

とされる、圃場容水量に対応するpF値となっていることを、テンシオメータにより確認した。

これらの試料に熱電対をカラム地表面に埋設し、周囲を断熱材で被覆した。

実験は2004年8月11日～8月21日にかけて立命館大学びわこ草津キャンパスの敷地(屋外)に静置し、データロガを用いて20分間隔で記録した。

b) 結果と考察

図-1に黒土改良土とマサ土の地表面温度の経時変化を比較した図を示す。

マサ土と黒土改良土を比較すると、最大で8°Cの温度差が確認された。また、8月15日と18日の降雨の後には、温度差が小さくなり、その後は土の乾燥とともに、温度差が大きくなっている。

以上の結果より、土の地表面温度は土質や水分状態によって大きく異なることが確認された。そのため、ヒートアイランド緩和効果について検討する場合、土の配合設計が重要となることがわかった。

(5) 蒸発量

蒸発量は都市の水循環やヒートアイランド緩和効果に関係する指標となる。そこで、前節(4)とほぼ同様の方法で試料を作製し、蒸発量の測定実験を行った。

a) 方法

実験は2005年8月～10月にかけて行い、9月13日～16日までの結果を示す。測定は12時、16時、20時に質量を測定し、前日との質量差から日蒸発量を求めた。

b) 結果と考察

図-2に、16時の測定結果から求めた日蒸発量を示す。9月15日は2mmの夕立が観測されたため、蒸発量が少なくなっている。

ここでも、土質の違いにより日蒸発量で0.5mm～1.5mm程度の差が生じた。砂質土のマサ土よりも、保水量の多く降雨の貯留効果も高い、粘性土の黒土および黒土の改良土の蒸発量が多いことが確認された。

実験は2ヶ月間行っているが、実験期間中を通し、ほぼ同様の結果となった。マサ土が低く、晴れた日で2～3mm程度、黒土および黒土改良土が同等で3～4mm程度と

なった。

これらの結果から、蒸発量についても、土質による違いが大きく影響することが確認できた。

また、芝生植栽の日蒸発散量が4mm程度とされていることを考慮すると⁹⁾、薄層人工地盤の蒸発散量に占める蒸発量の割合が高いことがわかる。そのため、この結果からも土の配合設計が重要となることが確認できる。

4. 緑化基盤材の評価指標

これまでに、緑化用人工地盤における土の配合設計が重要であることについて、実験結果から述べた。

次に、植生用の土壌に関する既往の評価指標と、本研究で提案する指標の意義について述べる。

(1) 既往の評価指標

新・緑空間デザイン設計・施工マニュアルによると⁹⁾、植栽基盤用土壌に要求される機能として、重量および水分を保持する能力、不要な水分を排水する能力、通気を確保する能力、養分を保持する能力、養分をスムーズに植物へ渡す能力、それに現在保持している養分の量、としている。これらの指標と、その基準値を表-1に示す。

この表は植生の生育に適した土壌物理性および化学性の基準値を示している。著者はこれまでに主として物理性に着目した検討を行ってきた。化学性については施工後、液体肥料などの追肥により調整が可能である一方、物理性については施工後の改良は困難なことが多いこと、基準値や評価方法に不明確な点が残っていたこと、などの理由からである。

(2) 提案する指標の意義

表-1の値は主として緑化用薄層人工地盤を施工する際の客土(土壌)の評価基準値であり、植生の生育の観点から経験的に決められている。しかしながら、都市緑化の主な目的が環境の改善、防災、アメニティー空間の確保、であること、薄層人工地盤の環境改善効果は土壌によるところが大きいこと、土質により効果が異なるため、土の配合設計が重要となること、などを考慮した結果、緑化基盤材についても植生との関係だけでなく、環境改

善効果の観点からの指標が必要であると考えた。

(3) 貯留効果に着目した理由

環境改善効果に着目した場合、蒸発量や地表面温度は土壌水分に依存する。そのため、土壌水分に関連した性質を示す指標が適するものと考え、雨水の貯留効果に着目した。既往の評価指標では保水性試験の結果が貯留効果に近い指標となる。

一般的な保水性試験は、試料に圧力をかけて、絞りだされる水の量で示している。その圧力レンジが広く、また、搾り出される水の量も、環境との関係において、関連付けて評価をすることが難しい。また、土質試験などで行われる保水性試験の種類の中で、比較的低コストでできる加圧法や水頭差法では、測定レンジが狭く、また、試験に時間を費やす。そのため、土壌の配合試験には適さず、短時間で結果が得られる試験が求められる。

一方、貯留効果を調べると、流出抑制効果の指標および土の保水力の目安となるため、環境影響評価との関連が付けやすい。特に、貯留高で示すと降雨量との関係が示しやすいことから、貯留高を指標とすることにした。

しかしながら、室内試験において貯留高を調べる方法は少ないため、試験方法の検討が必要であると考えた。

5. 貯留高の調査方法

貯留効果の定量的な把握を目的として、人工降雨装置を用いた薄層人工地盤のモデル実験を行った。次に簡易な貯留効果の測定方法を提案するための実験を行った。

(1) 実験概要

貯留高は薄層人工地盤がどの程度降雨を貯留することができるかを示す指標であり、一般に、貯留高が高い方が保水力も高く、水分を多く保持することが可能な土壌であることが多い。

そこで、人工降雨装置を用い、時間20mmの模擬降雨を2時間発生させ、試料の含水比の変化から吸収した降雨量を求め、面積で除し、貯留高を求めた。

また、カラム構造の違いと浸透特性を調査することを目的として、土壌表面から5cmの深さにマイクロテンシ

表-1 植栽基盤用土壌に要求される機能

性 質	指 標	基準値
重量	湿潤比重	軽量土壌をpF1.5で1.0、超軽量土壌をpF1.5で0.6以内
保水性	有効水分保持量	pF1.5～3.0の範囲で80ℓ/m ³ 以上が良、120ℓ/m ³ 以上が優、人工土壌についてはpF1.5～3.8の範囲で100ℓ/m ³ 以上が良、20ℓ/m ³ 以上が優
排水性・通気性	飽和透水係数	10-5m/sec以上を良、10-4m/sec以上を優
保肥力	塩基交換容量・CEC	6cmol(+)/kg以上が良、20cmol(+)/kg以上が優
土壌酸度	pH	5.5～7.5
肥料分	窒素・リン酸・カリ・その他微量元素	

表-2 土壌水分への影響

項目	変動要因	土壌水分への影響
基盤材	自然土壌	透水性・保水性
	改良土壌	
	人工土壌	
構造	土壌厚さ	貯留量
	排水層	浸出水量
	冠水深	表面流出量
施工・維持	締めめ(鎮圧)	密度
	散水・降雨	飽和度

オメータを挿入し、サクシオン水頭の変化を計測した。

(2)用いた試料

試料にはマサ土のパーライト改良土と黒土および黒土のパーライト改良土の3種類で実験を行った。

透水係数は定水位透水試験を行い、マサ土が 4.2×10^{-3} cm/sec, 黒土が 2.25×10^{-4} cm/sec, 黒土改良土が 8.1×10^{-4} となった。

(3)カラム構造

カラムは湛水可能な構造とした湛水カラムと、土壌表面ですりきり、降雨が表面で流出するような形の流出カラムの2種類を用いた。表-2に、人工地盤の土壌水分に与える影響要因について、図-3、図-4にカラム概念図を示す。

土質の違いによる貯留高の違いについてはすでに示している⁹⁾ため、ここでは表中の冠水深(構造)に着目した検討結果について述べる。

湛水カラムは花壇の土留縁が土壌表面より高く、余剰の降雨が表面で溜まるような花壇を模擬している。

次に、流出カラムは花壇の土留縁が構造上水が溜められないものや、土留縁よりも土壌面の方が盛り上がっているような花壇をモデル化している。どちらのカラムも直径20cm、高さ12cmで、土壌層厚は10cmとした。

湛水カラムは、表面で土壌をすりきった後、重箱上にリングを継ぎ合わせ、湛水可能な構造とした。なお、接合部には止水のためグリスを塗布した。

(4)初期含水比の設定と試料の作製

貯留高は試料の初期含水比に依存するため、初期含水比の設定根拠を明確にする必要がある。これまでの実験では圃場容水量となるpF1.5~1.8を目安に調整したが、この状態は植生の生育に適した水分量であり、土壌としては湿潤した状態となっている。そのため、飽和に達しやすいことから貯留高は低くなり、本研究のように、調査方法の検討を目的とするような場合には、得られた結果に差が生じにくく、検証が難しくなる。

また、ヒートアイランドに関する電力消費や水不足、防災に関する豪雨の問題は夏季に生じることが多いことに加え、薄層人工地盤は乾燥しやすいことが特徴としてあげられる。そこで、ここでは夏季の乾燥した水分状態

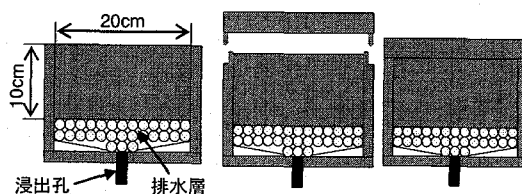


図-3 流出カラム

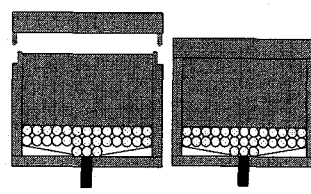


図-4 流出カラム

を想定し、初期含水比を決定することにした。

2004年7月27日から30日に、土壌層厚20cmのカラムを立命館大学びわこ草津キャンパス内の屋外に静置し、真夏日が4日間続いた後カラムを解体し、含水比分布を調査した。

この結果を基にマサ土で6%近傍、黒土で67%近傍を目安に調整し、その後パーライトを容積比で2対1の割合で混合した。その結果、マサ土のパーライト改良土の初期含水比が5%、黒土が65%、黒土のパーライト改良土が58%となった。

試料については3章で示したように、山中式硬度計で20mm以下となるよう、小型のランマーで突き固めた。

(5)貯留高の調査

貯留高はロードセルなどを用いて質量を測定し、質量の増分を面積で除す方法もあるが、この方法の場合、排水層内に溜まる水と土壌が吸収する水分とを分離することができない。そこで、降雨終了後1時間静置した後カラムを解体し、含水比の増分から吸収した降雨量を計算することで増加した水分量を求めた。含水比は表面、表面から5cm、表面から10cm(底部)の3地点からそれぞれ3箇所ずつ採取し、炉乾燥法により測定した。

6. 結果と考察

テンシオメータによるサクシオン水頭の経時変化を図-5~7に示す。

全ての試料で、表面流出が生じない湛水型の方が飽和に達するまでの時間が早いことが確認された。

ところが、飽和に達した後のサクシオン水頭の差は小さくなっている。この差が大きく、流出型のサクシオン水頭が高い場合は、流出型では飽和に達することが困難であることが考えられるが、流出型についても最終的にはpFで1.0付近にまで低下していることが確認できた。

以上の結果から、十分な降雨強度がある場合ではカラム構造の差による貯留高の差は少ないものと考えられる。

なお、マサ土の改良土が他の試料よりも飽和に達する時間が遅くなっている。これは、降雨装置の精度は±10%程度であるため、20mm/hrに設定しても18~22mm/hrとなり、降雨強度の差に起因するものと考えら

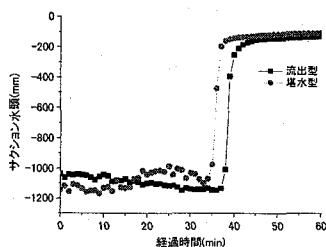


図-5 マサ土改良土

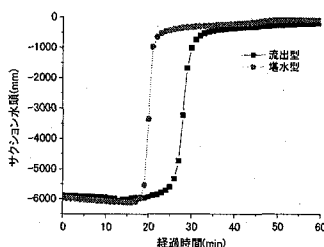


図-6 黒土改良土

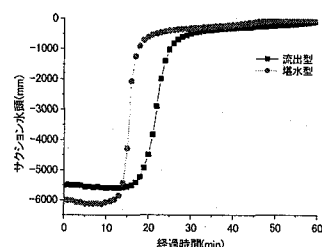


図-7 黒土

れる。なお、流出型と湛水型は装置を停止させず連続的に行うことで、同じ試料間での降雨強度の差が生じないように実験を行った。

次に、貯留高については、第7章の貯留高の室内試法の提案、であわせて検討する。

7. 貯留高の室内試験方法の提案

これまでに、貯留高を調べることの必要性について検討してきた。また、前章では貯留高を調査するために必要な、カラム構造の違いによって生じる浸透特性について検討を行った。

この章では貯留高の室内試験方法について提案する。

(1) 貯留高調査の問題点と実験目的

貯留高を調べる方法として最も一般的な方法として、ライシメータ法が挙げられる。転倒マスで降雨量を測定し、ライシメータの質量増分から貯留高を求める方法が、代表的な方法といえる。

しかしながらこの方法は、試験規模が大きくなるため時間もコストもかかり、人工軽量土の性能評価や、改良材の混合比を決める配合試験などを行う場合、検討ケースが限られるなどの問題点が生じる。

次に、前章で使用した人工降雨装置は、特殊な注文生産の実験装置であるため、広く一般に利用可能な実験装置ではない。

そこで、環境改善効果と防災性の向上を目的として、薄層人工地盤の土壌改良や、開発した軽量土壌の評価を行うことを目的とした、貯留効果の室内試験方法について提案する。

(2) 定水位透水試験器の利用

前節で述べた目的にかなう実験方法を提案するためには、簡易で、かつ特殊な装置を用いない試験が適当であると考えた。

前章で示した実験から、貯留高を調べるためには飽和近傍にまで達する程度の降雨量が必要となる。逆に、土壌水分を飽和付近にまで達せられれば、模擬的な降雨で実験をする必要がなく、浸透能の測定に用いられるよう

なマリOTT給水管でも良いことになる。

しかしながら、マリOTT給水管を別途に接続させるとなると、実験装置全体を作製しなおす必要があるため、定水位透水試験器を利用する方法を考案した。

定水位透水試験はJISおよびJGSの規格試験であるため、試験装置も規格品の利用が可能である。そのため、コスト的にも有利であるとともに、試験結果の比較などが行いやすい。また、第3章で示した植生用土壌に要求される機能にも透水性の項目があるため、広く一般に利用可能な装置と言える。

また、形状的に円筒の深さが12.7cmで排水層2.7cm、層厚10cmとすると、実際の薄層人工地盤に近い構造となる。加えて、底部から水が抜けるような有孔底盤であるため、薄層人工地盤の水抜き孔とも対応する。

一方問題点として、定水位透水試験器の場合、自然の降雨などに比べて飽和状態に達しやすいため、貯留高が高くなりやすい。そこで、定水位透水試験器を用いて貯留高を測定し、第6章で行った降雨試験の結果との比較を行った。

(3) 実験方法

試験はJIS A 1218 土の透水試験と同様の方法で試験装置を組み立てた。ただし薄層人工地盤を模擬するため、底部には軽石を敷詰め、土壌層厚が10cmになるようにした。水は通常の定水位透水試験と同様ホースを接続し、水位を一定に保つよう越流させながら供給した。

給水時間は1時間とし、給水終了後1時間静置した後、含水比を測定した。含水比の測定は土壌表面、土壌表面

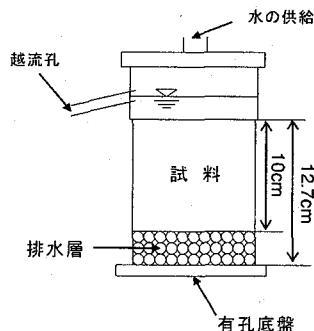


図-8 透水試験型の概要

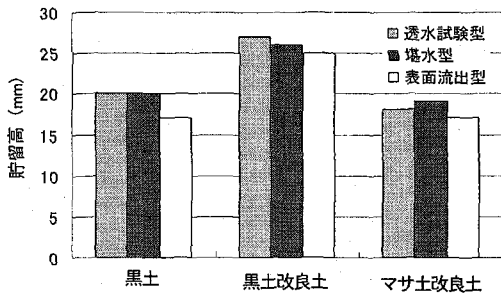


図-9 貯留高の比較

から5cmの深さ、土壌表面から10cmの深さ(底部)の3箇所から採取し、炉乾燥法により含水比を測定した。

(4) 結果と考察

図-9にマサ土のパーライト改良土、黒土、黒土のパーライト改良土の3種類で、流出型、湛水型、透水試験型の3種類で求めた貯留高の比較を示す。

流出型で2mm程度低くなる傾向があるが、湛水型と透水試験型ではほぼ同等の結果となった。

また、全体的に貯留高が高く、一般の浸透域の日安とされる6mmを大きく上回っている。これは、夏季を想定し、初期含水比を低く設定したこと起因する。

また、梅干野らが夏季に実施した15mmに対しては⁷⁾、降雨量の差のほか、花壇構造の違いなどが考えられる。

(5) 試験方法の提案

定水位透水試験器を用いることで、湛水可能な構造の人工地盤とほぼ同等の貯留高を求めることが可能であることを示した。

また、表面に水を溜めることができず、流出するタイプの場合については、定水位透水試験器で行った試験ではやや高めの値となる。しかしながら、改良材の配合を決定する場合や、保水量の値を定量的に評価したい場合などには、十分利用可能な方法であると考えられる。

初期含水比については、非常に重要な要素であるため、設定根拠を明確にする必要がある。本研究では夏季に行ったカラム試験の結果を基に決定したが、これは時間も労力も費やし、試験数が多い配合試験には適さない。

そこで、灌水開始時の土壌水分は植生により異なるが、テンシオメータでも確認可能なレンジであるpF値で2.3～2.6の範囲で設定することを提案する。

給水終了後、重力水を抜くために静置する時間であるが、本研究では降雨実験と実験条件を合わせることを目的とし1時間とした。しかしながら、圃場容水量の定義や重力水が抜けるまでの時間を考えると、給水終了後から24時間後に解体し、含水比を測定することを提案する。

8. おわりに

環境および防災の観点から緑化用人工地盤を計画する場合、その効果は土壌設計によって異なってくる。そのため、土の配合試験を行うことで、より効果的な人工地盤の設計が可能となる。

従来のように、植生との関係だけでなく、環境面や防災面からの設計も必要であると思われる。

参考文献

- 1) 多島秀司, 深川良一, 藪原奈緒子, 湯浅まゆ: 屋上緑化の雨水流出抑制効果とその評価に関する基礎的研究, 環境システム研究論文集, Vol. 32, pp. 173-182, 2004.
- 2) 高野保英, 江藤剛治, 竹原幸生, 福原輝幸: 微気象・水文観測に基づく緑化屋上からの蒸発散量の算定および排水水質分析, 土木学会論文集, No. 748/VII-29, pp. 57-65, 2003.
- 3) 梅干野晃, 何江, 堀口剛, 王革: 芝生葉群層の熱収支特性に関する実験研究, 日本建築学会計画系論文集, 第462号, pp. 31-39, 1994.
- 4) 近藤純生編: 水の気象学, 朝倉書店, 2001.
- 5) 都市緑化技術開発機構編: 新・緑空間デザイン設計・施工マニュアル, 2004.
- 6) 多島秀司, 深川良一: 人工地盤における堆肥の効果的な施用方法に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol. 33, pp. 453-459, 2005.
- 7) 王革, 梅干野晃, 何江, 堀口剛: 屋上芝生植栽の熱的特性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術梗概集, pp. 1527-1528, 1993.

ESTIMATION OF URBAN GREEN BY STROGE EFFECT

Shuji TAJIMA

Recently improving air environment and preventing potential disasters by adopting urban-greenery system like artificial ground has been given much attention.

While researching the environmental effects of artificial ground, the influence of retained water in soil on flood control as well as heat island phenomenon was emphasized. But there was no simple method of estimating storage effect in artificial ground so far.

Therefore the evaluation method of storage effect in artificial ground which use constant head permeability test fixture was developed.