

# 底面灌水システムによる土壌水分管理と熱環境改善効果

杉本 英夫 赤川 宏幸

## Soil Moisture Control with the Underground Irrigation System

### and the Effects of Rooftop Greening in the Improvements of Thermal Environments

Hideo Sugimoto Hiroyuki Akagawa

#### Abstract

Performances of the underground irrigation system for rooftop greenings are investigated for both the small-scale test fields and the greening made on the roof of a real building in central Tokyo in order to make clear the mitigating effects of the greening on the urban heat islands. Measurements of soil moisture, meteorological variables, as well as the surface temperature with an infrared camera are made. The extents of the area of soil moisture sufficient to the plant growth, and their dependence on the water-supply frequencies, are mainly concerned. The results are summarized as follows. 1) The water supply of 5 L/m<sup>2</sup> every day was found enough to appropriately hold the moisture conditions of the 50 mm thick soil even within 3 m distant of a water supply point under the hot weather conditions. However, the management of water becomes difficult when the distance from the water supply point is increased to 5 m. 2) Thermal image observations of the rooftop greenings show the well correspondence between the parts of the low surface temperatures and those with good plant growth. 3) The fact that the surface temperatures of the well-irrigated greening bed are significantly lower than the surrounding artificial surfaces indicates the effectiveness of the rooftop greening in the improvement of the urban thermal conditions.

#### 概要

本研究では、底面灌水システム稼働時の灌水管理の状態と熱環境の緩和効果を明らかにするため、小規模試験体および実物件を利用して調査を行った。土壌水分測定および熱画像撮影の結果、次のことが分かった。1) 高気温となる夏季では、土の厚さ50mmでも毎日5L/m<sup>2</sup>の水を供給すれば、給水点から3mの範囲は土壌水分を適切に管理できる。しかし、給水点から5m以上離れると土壌水分の管理が困難になる。2) 緑地を撮影した熱画像で温度が低い場所は、植物の生育に適する土壌水分状態の範囲と重なる。適切に灌水管理されていることは、熱画像による表面温度の測定でも判断できる。3) 底面灌水システムで適切な水分管理が行われている屋上緑地は、周辺の人工物より表面温度が低くなるので、都市の熱環境緩和が期待できる。

## 1. まえがき

都市部のヒートアイランド現象の原因は、緑地の減少がその一つである。植物が良く茂る緑地の表面温度は、周囲の人工表面より低い温度であることから、ヒートアイランド現象の緩和に役立つとされる。限られた都市空間の中で緑地を増やすことは容易ではないが、行政や自治体が熱心に取り組み始めた結果、建物屋上の緑地が増えている。例えば、都が2001年から緑化計画の提出を義務化する条例を施行してから7年間で、屋上等緑化面積は89万m<sup>2</sup>に達し、2006年度だけで17万m<sup>2</sup>も増えた<sup>1)</sup>。

建物緑化を進める場合、できるだけヒートアイランド現象の緩和に役立つ技術の採用が望まれる。荷重制限がある屋上で、土が適切に湿っており、蒸発散が活発である緑地を造ることは、さほど困難ではなくなっている。最近開発した底面灌水システムは、薄い土の層でも植物生長に必要な水分を供給できる<sup>2)</sup>。しかし、灌水時の保水状態や気温湿度の影響を受けるため、適切な土壌水分状態に保持できる距離が変わる。システムの信頼性を高めるためには、水

管理時の性能を調べる必要があった (Fig. 1参照)。

本研究では、技術研究所内に設けた試験施設で底面灌水システムを稼働させて、長期測定を行い、水分の状態を調査した。また、植物の生育観察の関連では、地上から赤外線サーモグラフィによる熱画像で土壌水分の分布を可

- ◆水量は、導水シートの性能で決まる。
- ◆水の到達距離は、蒸発ポテンシャル水分ポテンシャルの影響を受ける。
  - ・蒸発ポテンシャル(大気の気温・湿度、植物の吸収)
  - ・水分ポテンシャル(土の吸水・保水量)

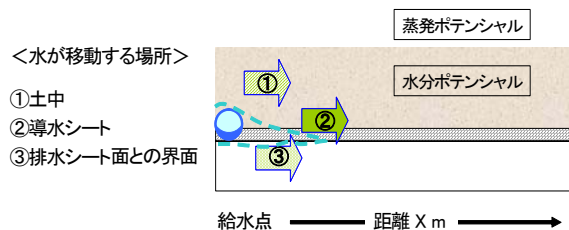


Fig. 1 土壌水分の分布を決める要素  
Governing Factors of Soil Moisture Distribution

視化し、灌水の到達距離との関係を検証した。そして、都内に設置された屋上緑地で、土壌水分の測定と熱画像の撮影を行い、研究成果を実証した。本報告は、これらの結果を述べる。

## 2. 水分測定と熱画像による灌水管理の確認

### 2.1 試験施設の概要

設置状況をPhoto 1, 使用した施設の模式図をFig. 2に示す。緑化施設はコンクリート枠で囲い、東京都清瀬市内の大林組技術研究所の屋上実験テラスに置いた。一つの緑地サイズは、幅1.5m×長さ10mで、土の厚さ50mmと150mmの2条件とした。緑地に使う土は、関東地方の一般的な畑地の表土（黒土）と軽石や有機質を混合した人工軽量土の2種類とした。灌水はタイマー制御で行い、水量は実験条件に応じて変更した。

土壌水分測定は、土の厚さ50mmをTDR方式、150mmをテンシオメーター方式で行った。土壌水分センサーは、点滴パイプ（給水点）から1m間隔に設置した（Fig. 2参照）。センサーの埋込みは、TDR方式で地表面から深さ40mm、テンシオメーター方式で地表面から深さ100mmとした。測定は通年行い、データ記録は30分毎に小型ロガーに保存した。データは、パソコンで回収した後、毎時の平均値に整理して考察に用いた。雨量は、2006年のみ転倒枡の雨量計で毎時のデータを記録し、それ以外はアメダスを利用した。

緑化植物は、土の厚さ50mmに草本（タマスダレ：ヒガンバナ科）と150mmに木本（ツツジ：ツツジ科，コニファー：マツ科）を採用し、給水点から500mmの等間隔で植えた（Photo 1参照）。

### 2.2 灌水条件と植物の状態

灌水時に給水点からの適切な水分状態に維持できる範囲（底面灌水システムの性能の限界）を知る目的で、灌水量を制限した。1回の灌水量を1日当たり5L/m<sup>2</sup>に設定すると、適切な水分状態にできる範囲は、既データを基に点滴パイプ（給水点）からの距離5mまでと仮定した<sup>3)</sup>。

**2.2.1 2003年の灌水** 植物を6月下旬に植えたので生育を安定させるため、7月末までの約1ヶ月間、灌水を毎日行った。試験は、8月1日から開始し、灌水は1週間に3回（月・水・金曜日）として、9月23日まで行った。9月24日以降の灌水は、1週間に1回（水曜日）に減らし、翌年4月まで管理した。植物は、枯れずに生育した。

**2.2.2 2004年の灌水** 試験は、4月30日から開始し、7月8日までの灌水量は1週間に1回（水曜日）、7月9日から1週間に3回（月・水・金曜日）にして、9月15日まで行った。9月16日以降の灌水は、12月まで1週間に3回（月・水・金曜日）として、翌年4月まで管理した。軽量土に植えた植物のツツジとコニファーは、7月7日頃から葉にシオレが発生し、7月14日頃に給水点から3m以上離れた範囲で葉が黄褐色になり、枯死した。黒土に植えたツツジとコニファーも3m以上離れた範囲で葉にシオレが発生したが、5m以内

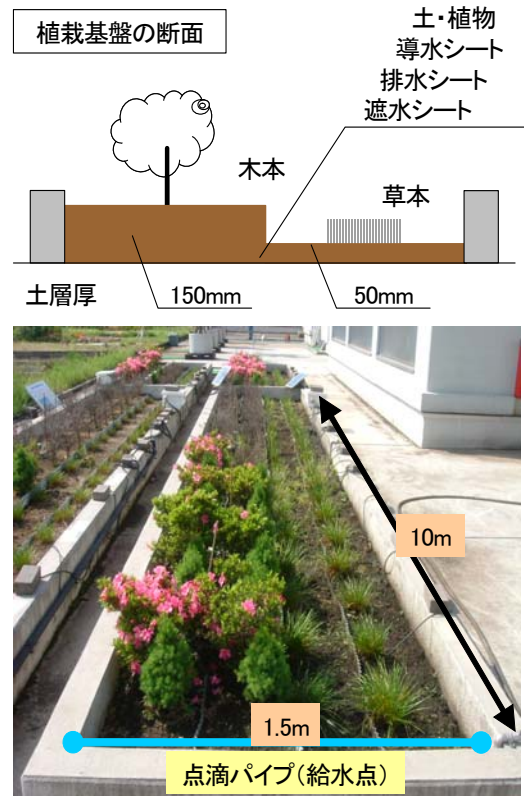


Photo 1 試験施設（2005年6月）  
Test Fields

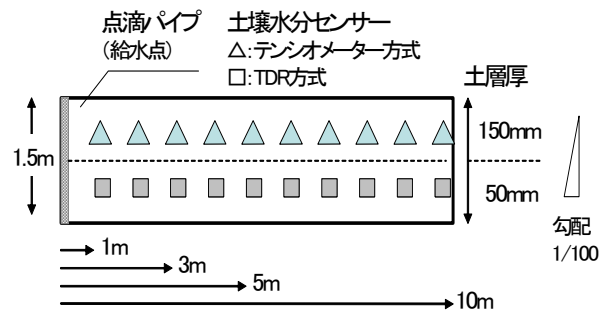


Fig. 2 施設の模式図  
Plane view of the Test Field

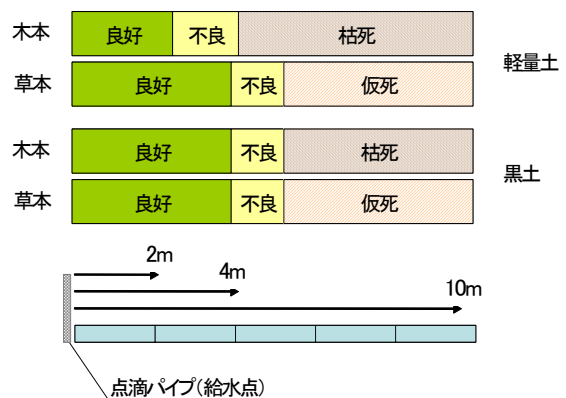


Fig. 3 週3回灌水時の生育状態（2004年7月）  
States of Plants in case of Three-Time Water-Supply a Week

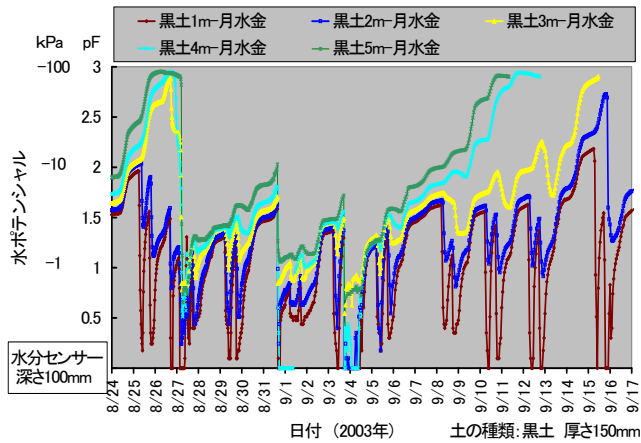


Fig. 4 黒土の水ポテンシャル (2003年8/24~9/17)  
Water Potential of the Natural Soil

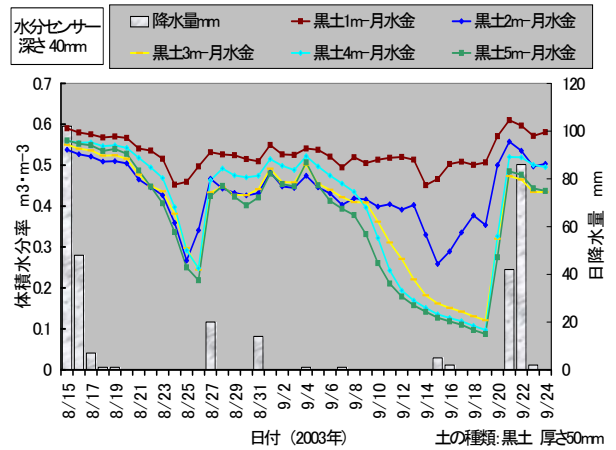


Fig. 6 黒土の体積含水率 (2003年8/15~9/24)  
Volumetric Water Contents of the Natural Soil

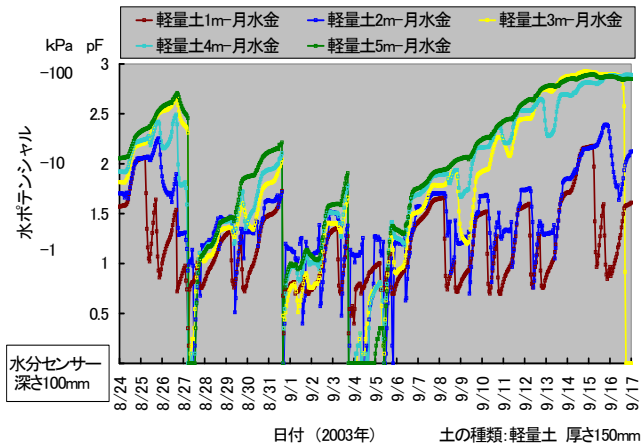


Fig. 5 軽量土の水ポテンシャル (2003年8/24~9/17)  
Water Potential of the Artificial Soil

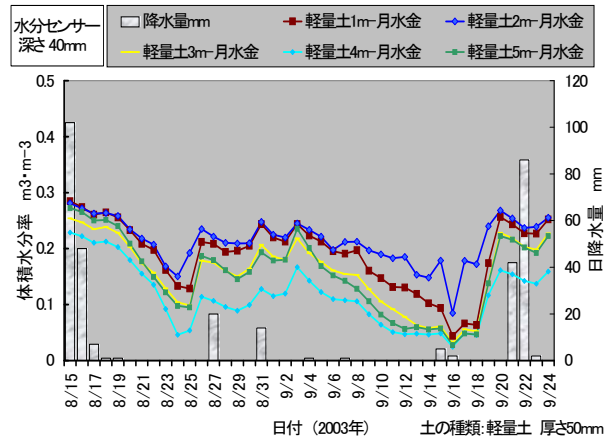


Fig. 7 軽量土の体積含水率 (2003年8/15~9/24)  
Volumetric Water Contents of the Artificial Soil

の範囲は枯れなかった。タマスダレは給水点から4m以上の範囲で、7月中旬から葉が黄褐色に変化した。9月上旬から葉が緑色に戻り、枯れなかった (Fig.3 参照)。

**2.2.3 2006年の灌水** 2004年の結果、1週間に3回の灌水頻度では土壌水分を適切に保持できない可能性がある。2005年は、植物の養生期間に位置づけ、4月末から10月末まで灌水は毎日に設定し、冬季は1週間に1回 (水曜日) で管理した。2006年は、4月末から10月末まで灌水は毎日に設定して、試験した。緑化植物の生育は、ツツジの花が5月に咲いた後、タマスダレの花が給水点から4m以内の範囲で6月~9月まで断続的に咲いた。給水点から4m以上離れた地点のタマスダレは、7月中旬から葉が黄褐色に変わるが、8月下旬に葉が緑色に戻り、花が9月中旬に咲いた。

**2.3 水ポテンシャルの測定による水管理の評価**

水ポテンシャルは、植物が土に含まれている水を吸える状態を判断できる。一般に負圧 (吸引圧) で表示され、負圧が大きいと土が乾燥し、負圧が低いと土が湿っている状態を示す。灌漑している緑地では、水ポテンシャルが-1~-100kPaの状態を示すと、植物が土壌水を利用できると考える。さらに、体積含水率は、土壌水の量が分かるため、

水ポテンシャルと体積含水率を比較して、適切な水管理が行われていることを評価する。

**2.3.1 2003年夏季の水管理状況** 2003年夏季はアメダス (所沢) によると1週間連続して晴天が続かず、雨が多い年で、夏季の降水量が平年以上であった。その中でも8月18日から9月20日は、8月27日と31日を除き、非常に雨が少なく、高気温の状態なので、この期間を詳しく調べた。

(1) テンシオメーター方式による土壌水分 Fig.4に黒土の結果、Fig.5に軽量土の結果を示す。定期的に水ポテンシャルが上下しているのは、灌水や降水があると水ポテンシャルが高くなり、それが無い時は水ポテンシャルが低くなるためである。

給水点から2m地点の範囲では、-30kPa (pF2.5) 以上で、植物にとって良い水分状態である。水ポテンシャルが、9月上旬~中旬に-50kPa (pF2.7) 以下を示した。黒土は、給水点から4m以上離れた地点、軽量土は、3m以上離れた地点である。これは、9月1~14日の2週間、降水が無く、高気温の状態になったためである。この状態が長期間続くと、土が乾燥した状態になるので、植物は水を吸えなくなり、やがて枯れる。しかし、9月15~16日の降水の影響で、水ポテンシャルが下がり、適切な水分状態に戻った。

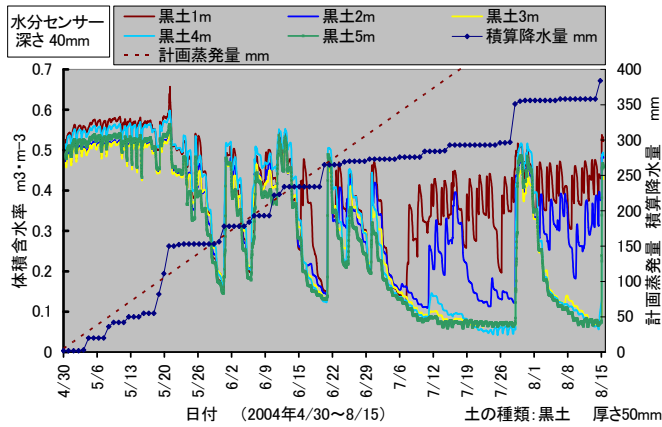


Fig. 8 黒土の体積含水率と積算降水量・計画蒸発量  
Water Content of the Natural Soil,  
Cumulative Precipitation & Planned Evaporation

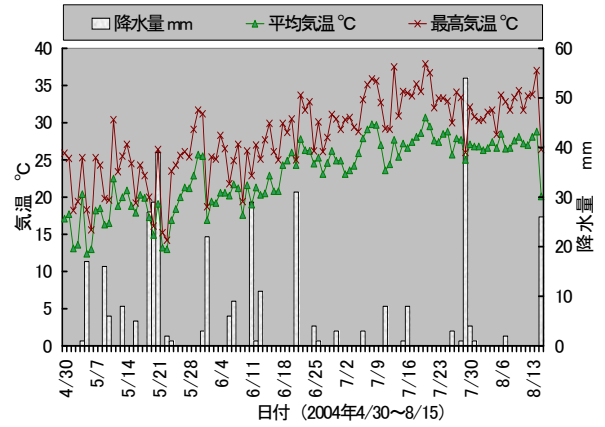


Fig. 10 日別の気温と降水量 (アメダス所沢)  
Daily Maximum, Mean Temperatures and Precipitation  
(AMeDAS Tokorozawa)

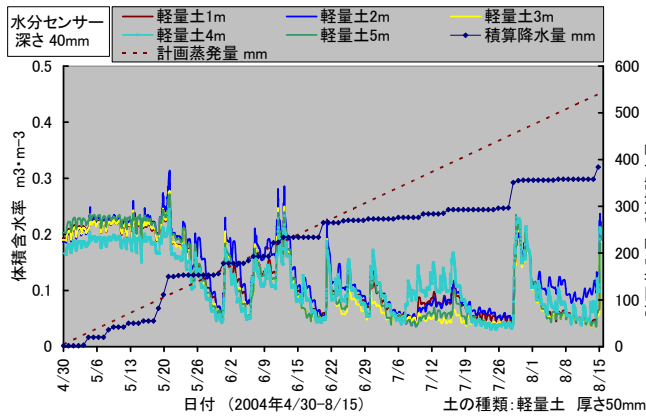


Fig. 9 軽量土の体積含水率と積算降水量・計画蒸発量  
Water Content of the Artificial Soil,  
Cumulative Precipitation & Planned Evaporation

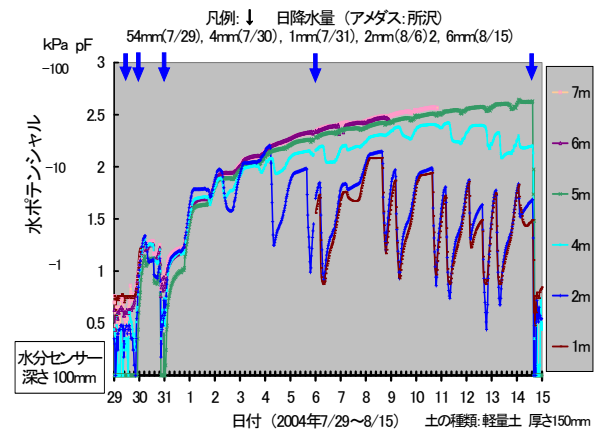


Fig. 11 軽量土の水ポテンシャル  
Water Potential of the Artificial Soil

(2) TDR方式による土壌水分 Fig.6に黒土の結果, Fig.7に軽量土の結果を示す。図に示す体積含水率は、土に含まれている水の量である。1時間毎データを24時間の平均値にして示している。8月15日は大雨の影響で土が飽和状態になったので、この時の値は土の最大の保水量に相当する。黒土は $0.54 \sim 0.59 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 、軽量土は $0.23 \sim 0.28 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ のため、黒土の方が高い保水性を示している。試験で使用している黒土は $0.2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 以下、軽量土は $0.1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 以下になると、植物が物理的に土から水を得ることが困難な状態になる。9月上旬～中旬に、黒土は給水点から3m以上離れた地点、軽量土は2m以上離れた地点で、それぞれこの値を示した。そこで、保水性が良い黒土は、給水点から離れても適切な土壌水分を保つ範囲が軽量土より広くなり、少量の灌水で植物を育てるのに有利と考える。

また、体積含水率は降水の影響で増加し、9月21～22日の40mm以上の時には給水点から5m離れた所でも適切な状態に回復した。8月27日の20mmと31日の14mmの降水量のときも体積含水率は増えていた。しかし、降水量が9月15日の5mm、16日の2mmではほとんど増えていない。そこで、蒸発で失われる量が1日当たり5mmと仮定すると、それを超える降水量の条件で体積含水率がっていると推測される。

つまり、土が乾燥したときに保水性を回復させる場合、1日の蒸発量以上の水量を与えねばならないと考える。

以上より、週3回の灌水条件では、降水がなく、高気温の状態が2週間以上続くと、点滴パイプ(給水点)から5m地点までの間で、土壌水分が不足する。土壌水分を適切な状態に管理できる範囲は、土の厚さ150mmの場合、給水点から3m以内、土の厚さ50mmの場合、2m以内であることが分かった。

なお、試験期間中、植物は給水点から5m以上離れた場所で枯れずに生育していたが、一時的な水不足が生じて、水ストレスを受けていたはずである。植物が乾燥ストレスに耐えられたのは、降水量が平年値を上回り、高気温時に土壌水分の状態が悪くなった期間が短かったことが推測された。そのため、次の試験では、水管理の限界を明らかにするため、植物が枯れるときの水分状態に注意して調べた。

2.3.2 2004年の水管理状況 アメダス(所沢)によると5月から6月は、晴天が続かず、7月上旬まで雨が定期的に降っていた。7月中旬から下旬には、晴天が続き、月末まで降水がない。平均気温 $25^\circ\text{C}$ を越え、最高気温も $30^\circ\text{C}$ 以上を示した。8月1日～14日は、7月29日の大雨が降った後、晴天が続き、高気温の状態になった。この期間の降水量は

8月6日に2mmで、日蒸発量を大きく下回る量であった。そこで、①7月上旬までの期間、②7月下旬までの期間、③8月中旬までの期間に分けて述べる。

(1) TDR方式による土壌水分 Fig.8に黒土の結果、Fig.9に軽量土の結果を示す。データは毎時の記録である。Fig.10には、各図に対応する期間の気温と日降水量を示す。①7月上旬までの期間、給水点から5m地点の体積含水率は、他と同レベルで推移している。これは、蒸発量に相当する水分が、給水点からの距離5mまで達していると考えられる。黒土は $0.2\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ 以下、軽量土は $0.1\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ 以下になる時もあるが、1~2日で水分率が回復しているため、適切な水管理の状態である。②7月下旬までの期間、給水点から3m地点の水分率は、植物の生育に適さない状態になり、1週間以上継続した。この間、給水点から6m以上離れた地点の植物の生育状態が悪くなり、葉が黄褐色に変わった。しかし、給水点から5m以内の植物は、緑色の葉を維持した。体積含水率は、給水点から5m地点でも僅かに変化していることから、植物が死なない程度の水が供給されていると推測された。③8月中旬までの期間、7月30日の降水時に水分率を回復したが、その後は給水点から3m地点より離れると適切な水分を維持できず、水管理が悪い状態であった。

(2) テンシオメーター方式による土壌水分 Fig.11に軽量土の結果を示す。給水点から6m地点および7m地点の水ポテンシャルは、8月9日に $-30\text{ kPa}$  (pF2.5)以下を示した。センサーの水が抜けるほど乾燥が激しく、測定不能になった。しかし、給水点から5m地点では、 $-40\text{ kPa}$  (pF2.6)の状態が1週間続いたが、8月15日に雨が降った時、水ポテンシャル低下の反応があるため、センサーは機能していた。センサーの水が抜けないのは、センサー周囲の土に水があることを意味している。そこで、給水点から3m地点~5m地点の範囲は、土の水ポテンシャルを回復するだけの水は供給されないが、植物が生育できる水ポテンシャルを維持する最小限度の水は、給水点から届けられていると考える。

(3) 必要な灌水量の推定 Fig.8とFig.9に示した計画蒸発量は、蒸発量に相当する量が灌水に必要と考え、日蒸発量を5mmと仮定して求めた。6月下旬までは、積算降水量と計画蒸発量は、良く一致している。しかし、7月上旬から下旬にかけて大きく外れ、7月27日で $-153\text{ mm}$ 、8月13日で $-172\text{ mm}$ の差が生じた。これは、灌水量が大幅に不足している状態で、日割りでは約5mm/日に相当すると考える。

以上より、週1回の灌水条件では、計画蒸発量に相当する5mm/日の降水があることで適切な水分状態に維持できる。週3回の灌水条件では、降水がなく、高気温の状態が続くと、給水点から5m地点までは、植物に適した土壌水の状態を維持できない。しかし、水分率に変動があるため、植物が枯れない程度の水は、供給できていると判断された。そのため、次の試験では、灌水を毎日行うことによる、給水点から5m地点の範囲までの水分状態の管理状況を注意して調べた。

2.3.3 2006年夏季の水管理状況 気象観測機器を設置して測定した。機器は、キャンベル製で、30分毎にデータ

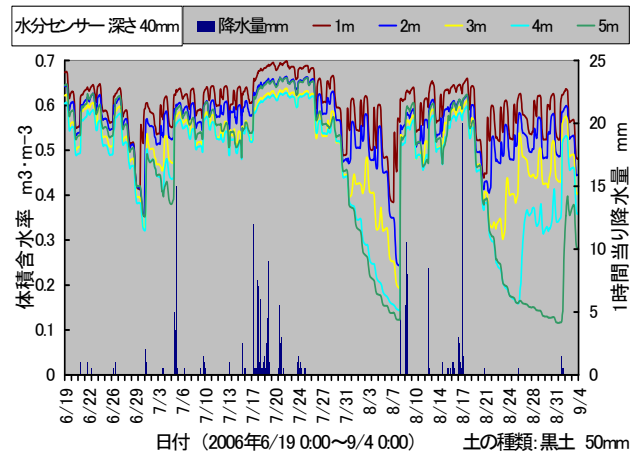


Fig. 12 黒土の体積含水率と時間降水量 (清瀬)  
Water Content of the Natural Soil and Hourly Precipitation

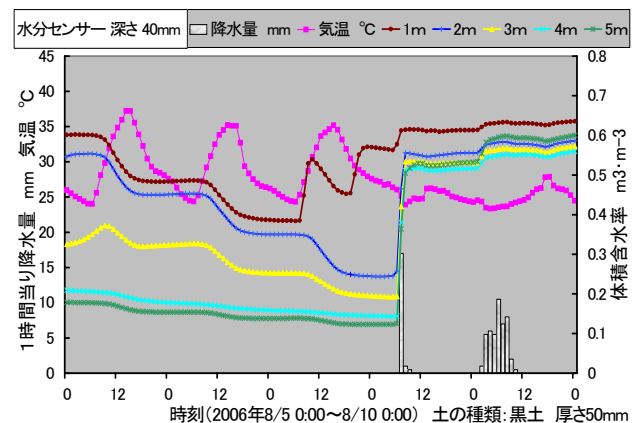


Fig. 13 8月上旬の黒土の体積含水率と降水量  
Water Content of the Natural Soil, Air Temperature,  
and Precipitation in the early August

をロガーに記録した。夏の降水量は平年より少なかったが、雷雨による局所的な大雨があった。連続した晴天は、7月25日深夜~8月8日早朝までの2週間である。8月18日~31日は、晴れの日が断続的に続いた。この期間中の降水は、8月20日に0.5mm、8月26日に1mmで、日蒸発量を大きく下回る量であった。そこで、①8月上旬の期間、②8月下旬の期間を詳しく述べる。

(1) TDR方式による土壌水分 Fig.12に結果を示す。灌水期間中、7月上旬に降水が少ない時に給水点から4m地点で体積含水率 $0.3\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ を示したが、適切に管理されていた。体積含水率 $0.2\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ 以下を示したのは、①8月上旬と②8月下旬で、給水点から5m地点である。これより、毎日灌水することで、給水点から3m範囲は適切な水分状態に維持できることが分かった。

Fig.13に①8月上旬の結果を示す。8月5日から8月7日まで最高気温 $35^\circ\text{C}$ 以上の高気温状態が続いた。この期間、給水点から3m地点で体積含水率 $0.2\text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ 以下、2m地点でも急速に水分率が減少した。降水があった8月8日以後は、適切な水分状態を維持したため、灌水システムに異常は無い。これより、最高気温 $35^\circ\text{C}$ 以上の日が連続する条件では、灌水タイマーの設定を変えるなどの対策が必要であること

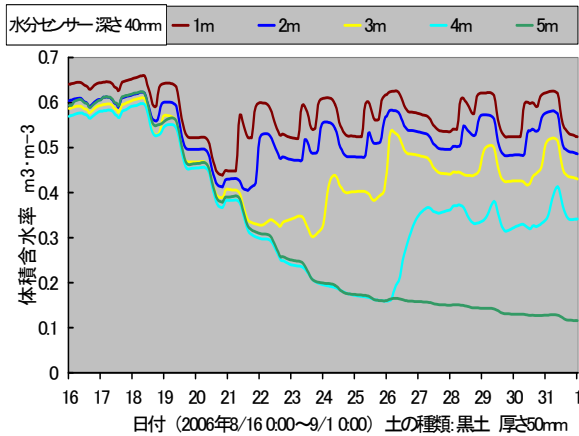


Fig. 14 8月下旬の黒土の体積含水率  
Water Content of the Natural Soil  
in the latter half of August

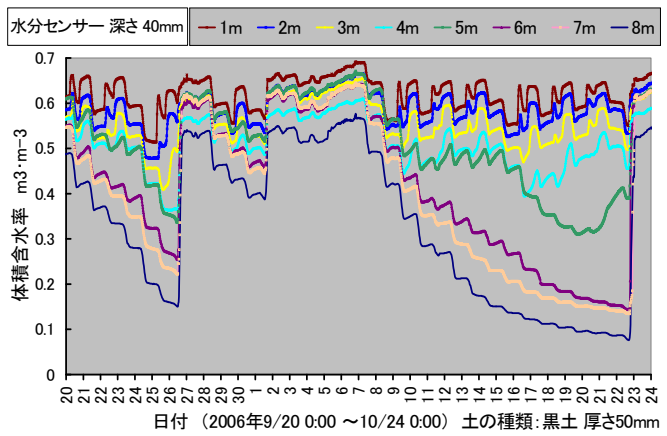


Fig. 16 低気温時の黒土の体積含水率  
Water Content of the Natural Soil in the early Autumn

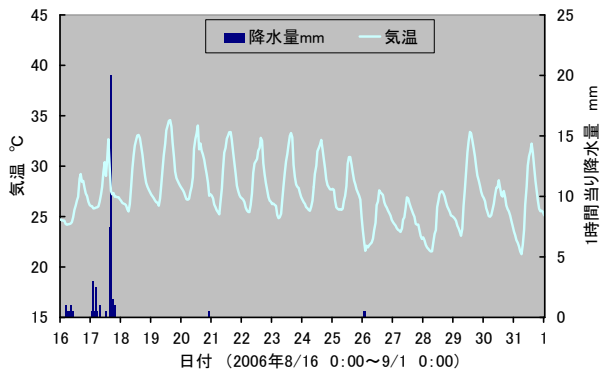


Fig. 15 8月下旬の降水量と気温 (清瀬)  
Precipitation and Air Temperature  
in the latter half of August



Photo 2 熱画像撮影時の緑地  
The Rooftop Plants at the time of Thermal Image Observation

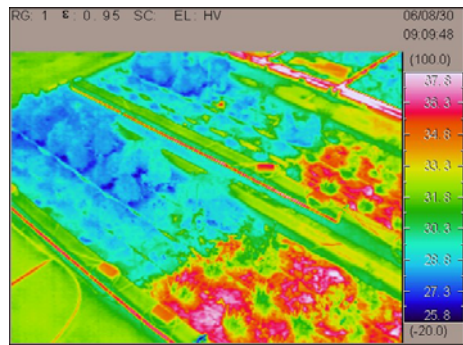


Photo 3 緑地の熱画像 (2006年8月30日 9時)  
Thermal Image of the Rooftop Plants

が分かった。

Fig. 14に②8月下旬の結果, Fig. 15に8月下旬の降水量と気温を示す。8月下旬には, 最高気温30°Cを下回るようになった。その条件では, 給水点から4m地点で体積含水率を回復し, 適切な水分状態になった。さらに, 低気温時の10月には, 給水点から5m地点でも体積含水率を回復する傾向が見られた (Fig. 16参照)。これより, 低気温時のように蒸発量が減る状態になれば, 給水点から5m地点まで適切な水分状態に保つことが可能になると推察される。

(2) 熱画像による土壌水分の検証 熱画像は, NEC三栄製のサーモグラフィ (型番: TH9100MV) を使用した。撮影は, 2006年8月30日9時に行った。Photo2に撮影時の緑地, Photo3に熱画像, Fig. 17に土壌水分を示す。

給水点から5m地点では, 表面温度35°C以上を示すが, 4m地点は30°C程度, 3m地点では28°Cを示し, それぞれ気温以下の状態であった。この時の土壌水分は, 給水点から5m地点で体積含水率0.2 m³·m⁻³以下を示し, 乾燥した状態であった。4m地点では0.3 m³·m⁻³, 3m地点で0.4 m³·m⁻³を示し, 植物の生育に適切な水分状態であった。これより, 熱画像を使い地表面温度を測れば, 土の厚さが薄い緑化基盤での水管理が適切であることを評価できることが分かった。

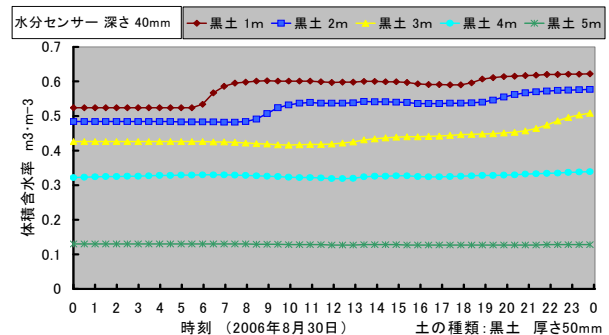


Fig. 17 熱画像撮影日の土壌水分  
Hourly Soil Moisture on the day  
of the Thermal Image Observations

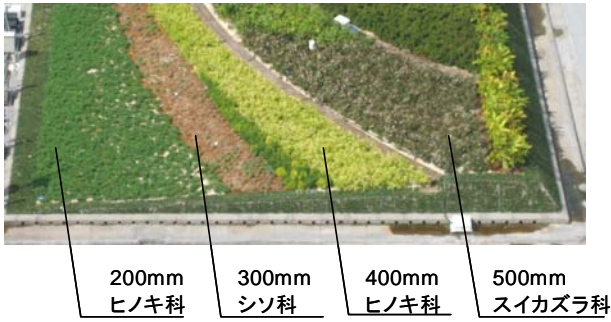


Photo 4 水分センサー埋込み場所の土層厚と植物種  
Layout of Plants, Soil Thickness,  
and the Positions of Moisture Sensor

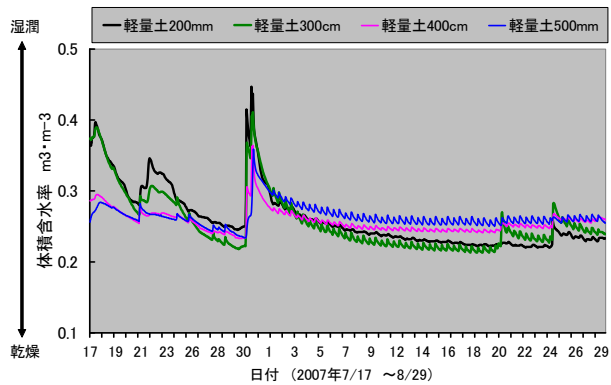


Fig. 18 体積含水率の時間変化 (都心ビル)  
Water Content of the Rooftop Green Bed  
in the Central Tokyo

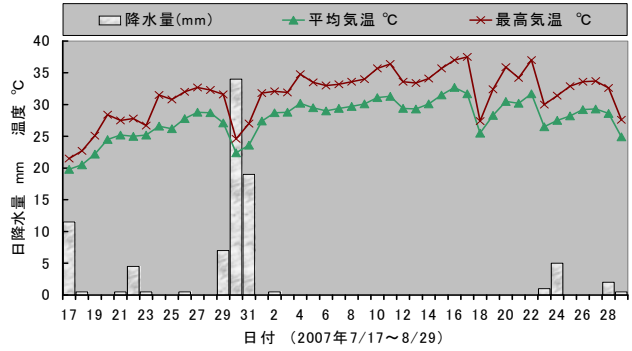


Fig. 19 降水量と気温 (アメダス東京)  
Daily Maximum, Mean Temperatures,  
and Precipitation (AMeDAS Tokyo)

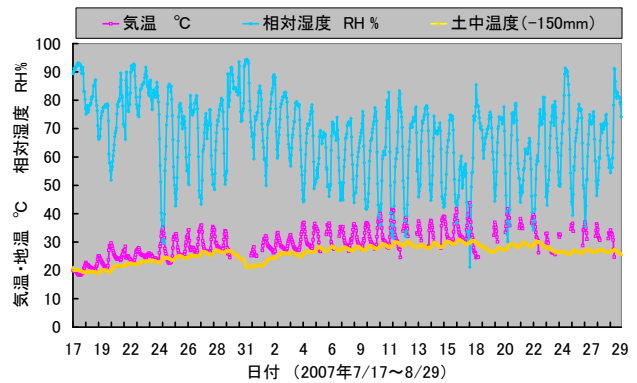


Fig. 20 土中温度・気温・相対湿度  
Soil Temperature, Air Temperature,  
and Relative Humidity

### 3. 屋上緑地の灌水管理の確認

#### 3.1 調査施設の概要

調査場所は、東京駅丸の内側にある丸の内ビルディング7階の屋上緑地で、2007年7月に竣工した物件である。緑化基盤には、底面灌水システムが採用されている。土の種類は人工軽量土で、土の深さが150~600mmである。

灌水は、中水を使用している。7月17日~31日までの間は、工事期間中のため地上から散水された。8月1日以降は、底面灌水システムを使用し、タイマー制御による管理が実施された。夏季の灌水は、毎日5L/m<sup>2</sup>である。

熱画像は、2007年8月3日~6日にかけて連続撮影を行った。機器は、NEC三栄製のサーモグラフィ(型番:TH9100MV)を使用した。緑地は、土壌水分(TDR方式、テンシオメーター方式)、温湿度(キャンベル製HMP45C-Lx)、土中温度(CC熱電対)、表面温度(赤外線熱電対)を測定し、そのデータは小型のロガーに記録した後、パソコンで1時間毎のデータに整理した。Photo 4に土壌水分センサーを埋めた深さと緑化植物を示す。緑化植物は、ハイネズ(ヒノキ科)、ラベンダー(シソ科)、フェリフェラ・オーレラ(ヒノキ科)、アベリア(スイカズラ科)である。

#### 3.2 TDR方式による土壌水分

Fig. 18に体積含水率, Fig. 19に降水量と気温, Fig. 20

に土中温度, 緑地内の気温と相対湿度を示す。7月は月末まで定期的に降水があり, 土壌水分は適切な状態である。7月29日~31日は, 大雨の影響で, 土が飽和状態になった。8月1日~22日まで, 2週間以上降水がほとんど無く, 高気温の状態に置かれた。この期間中, 深さ200mmと300mmの条件では, 徐々に体積含水率が減少したが, 0.2 m<sup>3</sup>·m<sup>-3</sup>以下を示すことはなかった。水ポテンシャルは-20~-30 kPaで, 植物が水を吸える状態であった。なお, 体積含水率が小刻みに変動しているのは, タイマー制御で給水を行っている影響と考えられる。

緑地の表面近くの気温は, アメダスの値と同程度である。土中温度は, 降水がほとんど無い期間でも20°Cから30°C程度まで徐々に変化し, 蓄熱する傾向が確認された。温度が異常に変化することはなかったため, 水分が確実に存在していたと考える。

以上より, 底面灌水システムが正常に稼働し, 土壌水分は適切に管理されていると判断された。

#### 3.3 熱画像による屋上緑地の評価

熱画像の撮影は, 丸の内ビルディングに隣接する三菱ビルの屋上15階から行った。Photo 5に熱画像の撮影範囲, Photo 6に熱画像撮影時の屋上緑地とその周辺, Photo 7に熱画像, Fig. 21に屋上の緑地とスラブの表面温度を示す。

熱画像の左隅に屋上緑地がある。8月4日最高気温35°C



Photo 5 熱画像の撮影範囲 (約300×約200m)  
The area of the Thermal Image Observations



Photo 6 熱画像撮影時の屋上緑地と東京駅丸の内口周辺  
The Rooftop Green and Tokyo Station

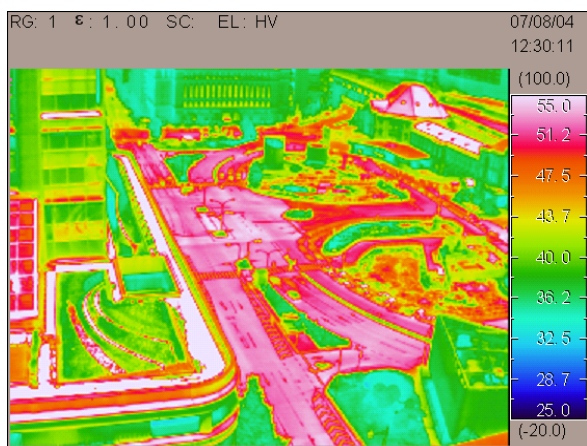


Photo 7 夏季日中の熱画像 (2007年8月4日 12時30分)  
Corresponding Thermal Image to Photo 6

の時、緑化されていない屋上スラブ面の表面温度が60°C以上を示している。温度50°C以上になっているのは、アスファルト道路および建物(駅舎など)の屋根である。緑地の表面温度は40°C前後であり、アスファルト舗装やスラブ面と比較すると10°C以上低くなっている。植物の表面は、気温と同程度であり、スラブ面に比べて温度が低い。これより、緑地は表面温度を低下させていることが分かった。

また、屋上緑地の中で、すじ状の高温状態を示したのは、デザインとして配置された木道および緑地表面を飾るための樹皮マルチである。デザイン要素の木質材は、表面温度が高くなることから、熱環境の緩和を重点にした緑化には、熱容量がある程度ある材料を使うことも考えられた。

#### 4. まとめ

本研究では、降水が少ない高気温時期の土壌水分管理による検証を目的として灌水システム稼働時の実態調査を行った。その結果、以下のことが分かった。

- 1) 高気温となる夏季では、毎日5L/m<sup>2</sup>の水を供給すれば、

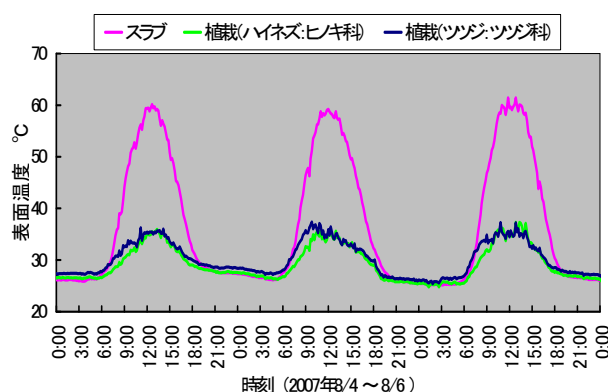


Fig. 21 表面温度 (赤外線熱電対)  
Surface Temperatures measured by the Infrared-Thermocouples

給水点から3mの範囲は土の厚さ50mmでも土壌水分を適切に管理できる。しかし、給水点から5m以上離れると土壌水分の管理が困難になる。

- 2) 熱画像と土壌水分の測定値を比較したところ、植物の生育に適する水分条件となっている範囲は、温度が低くなることが分かった。
- 3) 都内の屋上緑地で土壌水分の測定と熱画像を撮影した。その結果、緑地は灌水管理が適切に行われているので表面温度が下がり、熱環境の緩和が期待できることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 東京都：東京都における屋上等緑化指導実績, [http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/green/shyukei/sidouji\\_sseki2003made.pdf](http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/green/shyukei/sidouji_sseki2003made.pdf), (2008年8月4日確認)
- 2) 杉本, 赤川, 他：底面灌水方式による屋上緑化システムの開発, 大林組技術研究所報 No. 65, 1-6, 2002
- 3) 杉本, 赤川, 他：底面灌水方式による屋上緑化システムの薄層土壌の水分特性 農業土木学会大会講演集 P. 764-765, 2005