

京都府立植物園における廃瓦を用いた桜園土壤改良方法の評価

吉田麻美^{*1)}・米田 稔²⁾・片岡利仁³⁾・尾坂高明⁴⁾・
小倉研二⁵⁾・小島玉雄⁶⁾

- 1) 京都大学工学研究科
- 2) 京都大学工学研究科
- 3) 日本下水道事業団
- 4) 住友金属株式会社
- 5) 京都府立植物園
- 6) サン・アクト株式会社

摘要：京都府立植物園の桜園を対象として、瓦破砕材を用いた土壤改良の有効性について検討した。まず試験的に各種土壤を充填した穴を通路に設定し、降雨への応答や踏圧による物理特性などの変化を追跡した。その結果、瓦破砕材は適度な水の保持能力と水はけの良さを合わせ持っていること、数ヶ月程度ではその効果は消えないことが明らかとなり、さらに実際に瓦破砕材を約 40 % (重量比) 混合して実施した土壤改良でも改良前と水分保持量は変わらず、水はけは良くなるという結果を得た。また土壤改良と同時に瓦破砕材のみを充填した道を造ったが、土壤領域地表に難透水層が形成された場合には、この道が周囲の土壤中含水率に影響を及ぼすことが数値シミュレーションにより明らかとなった。
キーワード：瓦破砕材、土壤改良、踏圧、桜、含水率変化

園の土 (以降、植物園の土)、2. マサ土、3. 粒径 1-5 mm の瓦破砕材 (以降、瓦 1-5 mm)、4. 粒径 5-10 mm の瓦破砕材 (以降、瓦 5-10 mm) の 4 種類を埋め戻した。掘り返した位置の概要を図-1 に示す。特に植物園の土とマサ土は 10~15 cm 入れる度に人が踏み固めながら埋め戻した。各穴を埋め戻す際、深さ 10 cm, 30 cm, 70 cm の位置に体積含水率計 (Decagon Devices Inc. EC-20、EC-5) を、深さ 10 cm, 70 cm の位置に温度センサー (Decagon Devices Inc. ECHO Temp) を設置した。体積含水率と温度は設置した 2008 年 3 月中旬から 2009 年 1 月までおよそ 1 年間計測を続け、踏圧を受けた土壤でどの様に含水率が変化していくかを追った。

1. はじめに

土壤から植物が受けるストレスとして、踏圧によって締め固められた土壤の排水性・通気性不良や根の有効空隙の不足などが考えられる。そこで桜枯死の対策として、土壤を改良することによって桜の根が受けるストレスを解消し、樹勢を維持する方法について検討する。本研究では京都府立植物園において実施した、瓦破砕材を用いた土壤改良方法の有用性を検証するため、改良土壤の物理特性及び瓦破砕材が植物園の土壤に及ぼした影響について検討を行う。

2. 土壤の踏圧に対する経時変化

2.1 実験方法

京都府立植物園の桜園において、来園者が多く通行しそうな領域を花見シーズン前に縦 50 cm, 横 50 cm, 深さ 90 cm の直方体形に 4 ヶ所掘り返した。その穴に 1. 掘り返した植物

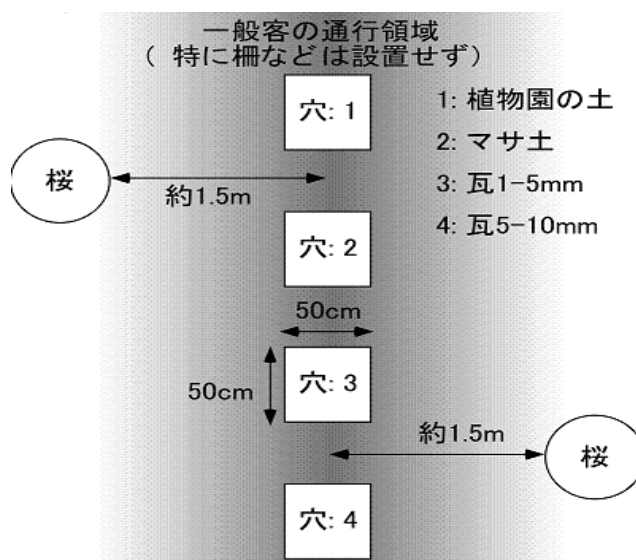


図-1 植物園における土壤埋め戻し概要

2.2 結果および考察

2.2.1 体積含水率の変動

例として施工 8 ヶ月後の 11 月における植物園の土と瓦 5・10 mm の体積含水率変化を京都市の降水量と併せて示す。植物園の土やマサ土より瓦の方が降水によく応答しており、植物園の土においては、降雨への応答がほとんど観測できなかった。これは植物園の土やマサ土の有効間隙径が瓦よりも小さく、透水係数が小さいためと思われる。

2.2.2 根の侵入

施工 10 ヶ月後の 2009 年 1 月に土壌を掘り返した際、各穴に近くの桜の根が伸びて侵入してきていた。それぞれの根の張り具合の例として、植物園の土と瓦 5・10 mm の例を写真-1 と写真-2 に示す。結果から植物園の土やマサ土よりも瓦の方が明らかに根が張っている。土と瓦において温度での相違は認められなかった（データ省略）ので、この根の張り具合の違いには水と空気の量と保持特性、つまり間隙の性質が根の成長に大きく関わっていると考えられる。



写真-1 植物園の土で埋めた穴に侵入してきた根の様子

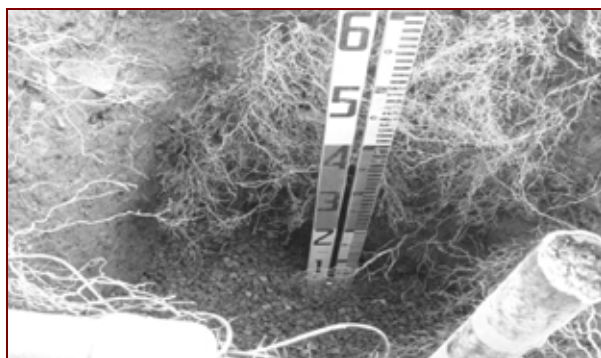


写真-2 瓦 5・10 mm に侵入してきた根の様子

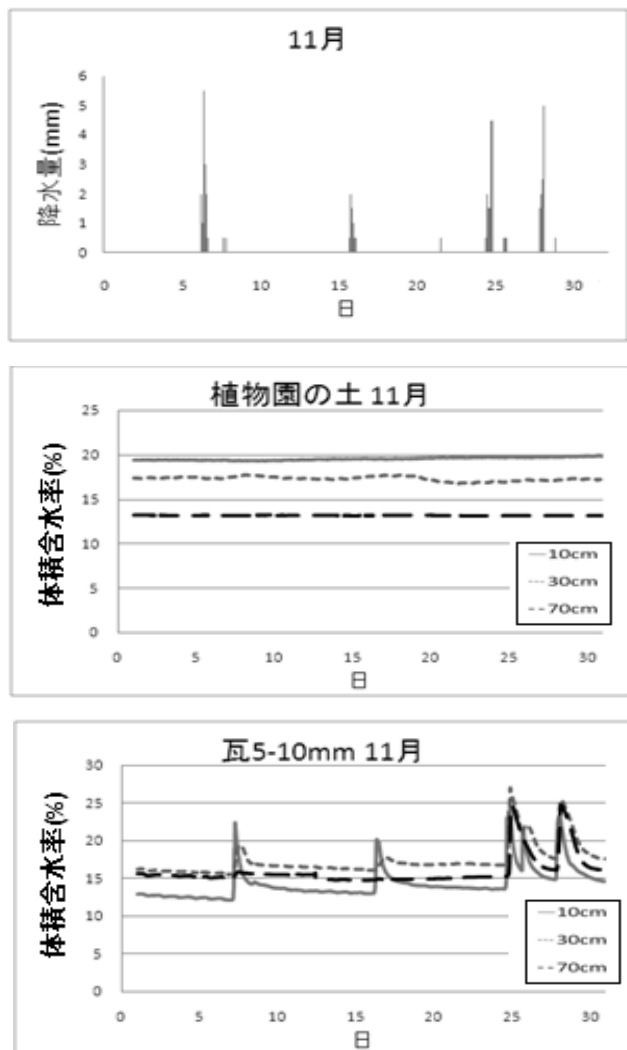


図-2 2008 年 11 月における降水量と体積含水率変化

2.2.3 体積含水率、飽和透水係数、三相分布

土を掘り返す際、各深さにおいて内径 5 cm、高さ 5.1 cm の鉄製のモールドを打ち込み、そのままくり抜いて、各種土壌特性を測定した。体積含水率を図-3 に、飽和透水係数を図-4 に、三相分布の例として植物園の土と瓦 5・10 mm のものを図-5 に示す。図-3 より土壌の種類の違いによる体積含水率の違いとしては、概ね植物園の土やマサ土よりも瓦の方が高い事が分かる。また、植物園の土やマサ土では体積含水率が深さとともに下がっていく傾向が見られたが、瓦では深さによる違いは見受けられなかった。図-4 より植物園の土やマサ土よりも瓦の方が透水性が高く、礫なみの値（透水係数 $\approx 10^{-9}$ cm/s）を持っている事が分かる。よって図-3、図-4 より瓦は通常の土壌と同程度以上の体積含水率と礫なみの水はけの良さを合わせ持っていることになる。図-5 より、瓦の方が土よりも空隙を多く含んでいる事が分かり、根の生長阻害の原因の 1 つと考えられる酸素不足が起こるとは考えにくい。

3. 京都府立植物園における土壌改良

3.1 土壌改良の内容

京都府立植物園では、桜園の土壌改良として従来使われていた土壌に粒径 5 mm～10 mm の瓦を約 4 割（重量比）混合する方法をとった。（以下、改良土壌と呼ぶ）それに加え、桜の植わっていない所に粒径 5 mm～10 mm の瓦のみを充填した幅 50 cm、深さ 50 cm の領域（以下、瓦領域）を設けた。これらの土壌改良を施工した領域の概要を図-6 に示す。

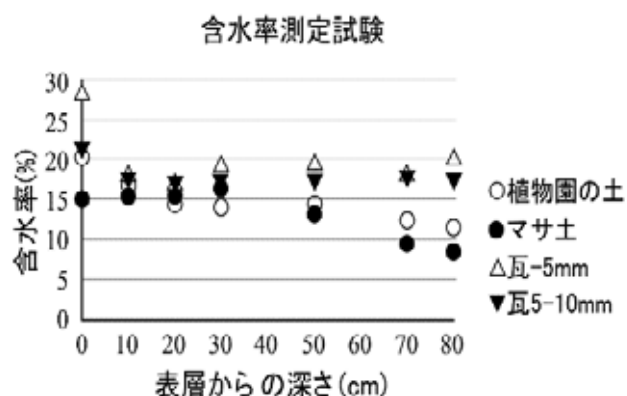


図-3 掘り返し時における体積含水率の深さ変化

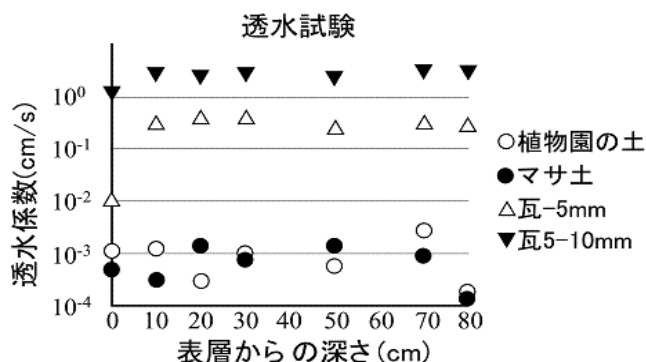


図-4 掘り返し時における透水係数の深さ変化

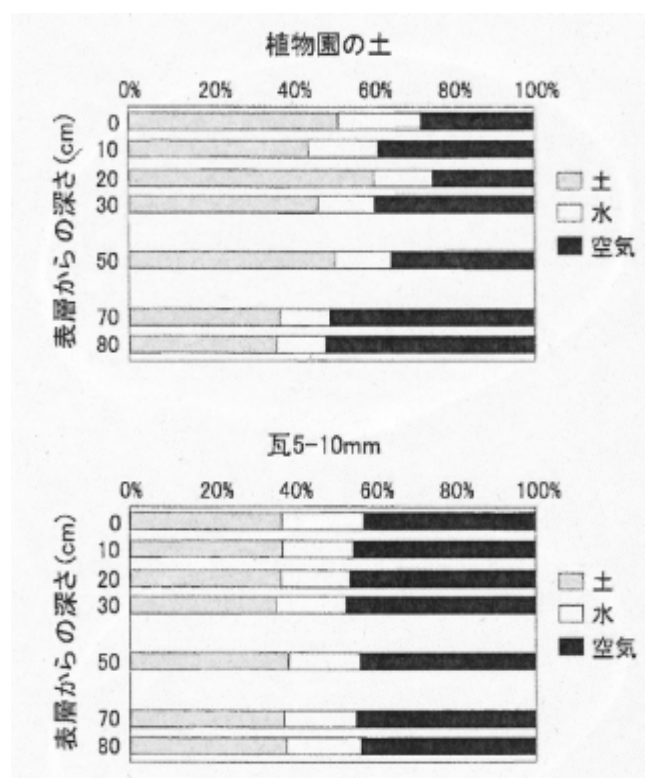


図-5 掘り返し時における植物園の土と瓦 5-10mm の三相分布

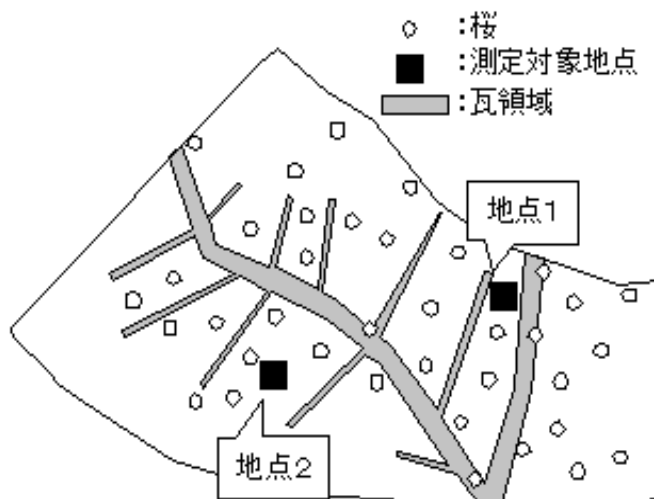


図-6 土壌改良施工地域図 (灰色が瓦充填領域)

瓦領域以外の領域は全て改良土壌で構成されている。測定対象とした図-6における地点1,2は改良土壌の領域にある。地点1,2の違いは瓦領域からの直線距離であり、それぞれ1.4 m, 3.4 mとなっている。いずれも近隣の桜の木からの距離は約3 mである。また、この地帯は来園者も通行可能な地域であるため、頻繁に踏圧がかかる地域である。

地点1,2とは別に、改良土壌との比較のために地点3を設けた。地点3は瓦を一切混合していない土壌の領域（以下植物園土壌とする）に位置しており、その成分は瓦を混合する前の土壌と同じである。また地点3は一般客の立入禁止領域にあるため、あまり踏圧はかからない。

3.2 土壌含水率の経時変化

3.2.1 実験方法

前述した地点1,2,3において2.1と同様にして土壌含水率及び地中温度の経時変化をモニターした。体積含水率計を設置したのは深さ10 cm, 40 cm, 70 cmであり、深さ10 cmと70 cm地点には温度センサーも設置した。また深さ40 cm地点には酸素濃度を測定するため粒径の比較的大きな石で囲んだアクリルチューブの先端を設置し、不定期に地上から土壌ガスを吸引し、その酸素濃度を酸素濃度計（大起理化学工業株式会社, DK-5210）で測定した。

3.2.2 実験結果および考察

植物園では2009年4月から2010年1月まで体積含水率と地温の経時変化を測定した。各地点の体積含水率は、総じて地点3より地点1,2の方が大きくなっていた（データ省略）。これは粒径の大きい瓦を混ぜることにより土壌中に比較的大きな空隙が増え、水が浸透しやすくなったこと、あるいは瓦が多孔質であるため、瓦自体に保水する空間があることなどが原因と考えられる。また土壌中酸素濃度について、どの地点においても明瞭な長期間に及ぶ酸素濃度低下は観測されなかった。

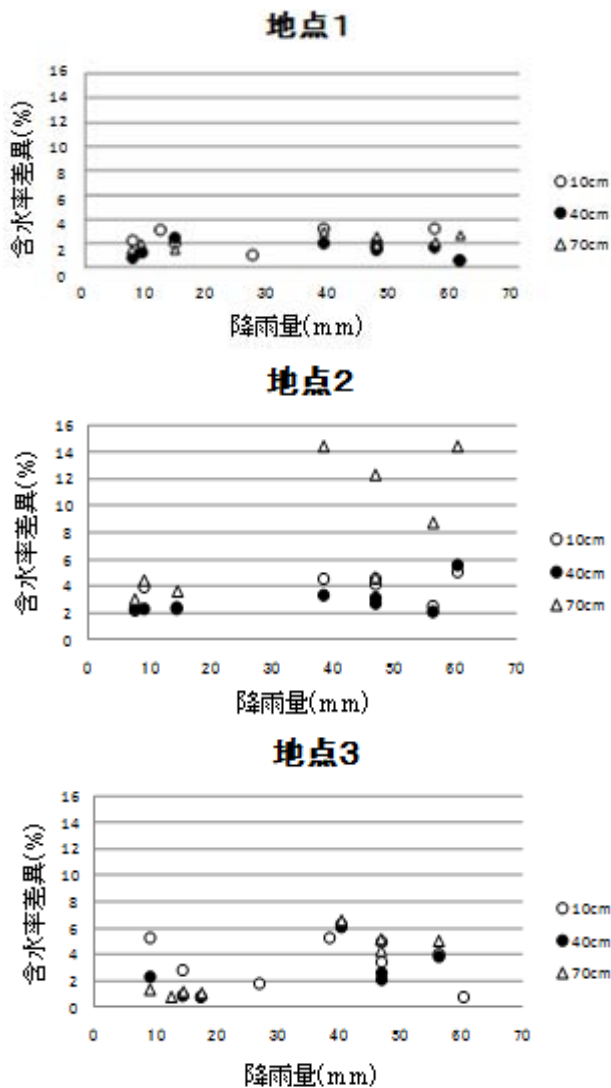


図-7 降雨量と含水率差異との関係

本研究では間隙中の水分や空気の交換速度を比較するため、「含水率差異」と呼ぶ指標を新たに設定した。まず各月での体積含水率の内、最も変動が大きい日に注目する。降雨により含水率が高くなり、その含水率が落ち着くのに3日程度必要であるという測定データ（データ省略）から、含水率が最高になる時とそれから3日後の含水率との差異を算出する。この数値を含水率差異とする。含水率差異と降雨量との関係を図-7に示す。図-7より特に比較的1日当たりの降雨量が少ない場合は、地点2>地点1>地点3の順に含水率差異が小さくなっていることが分かる。含水率差異は降雨等によって空隙が水で満たされた後、一定時間内にどの程度水が排出されるかを示すものであり、土壌を浸透通過する水の絶対量の指標となると考えられる。また排水があると、その量に応じて気相が増加するので、含水率差異は大気から土壌への空気の流入量とみなすことができる。改良土壌が植物園土壌に比べて含水率差異が大きいということは、絶対的な大気の流

入量が多いことを示し、深部でも含水率差異が大きいことから、深部にまで空気の流入があると考えられる。特に地点2の土壌深70cmでは、含水率差異が10%を大きく上回る数値を示しており、他の土壌よりも水の流入量が多い。透水性の良い瓦領域からの距離に近い地点1の方が地点2よりも含水率差異の値が大きくなると予想したが、全体的に地点1の方が低い値となった。これは地点1において地点2よりも改良土壌以外の地面が締め固まっていたことなどが影響していると考えられる。

4. 数値シミュレーションによる土壌改良地域の評価

4.1 シミュレーション内容とパラメーターの設定

図-6に示したように、土壌改良において高透水性の瓦破砕材のみを充填した領域を設定することの有効性を見るため、瓦領域に直交する断面について体積含水率の2次元飽和・不飽和数値シミュレーションを行った。数値シミュレーションで必要となる係数については現場から採取した改良土壌を用いて測定した。例として改良土壌から求めた水分特性曲線と不飽和透水係数を以下に示す。ここで θ は含水率、 ψ は水分ポテンシャル、 k は不飽和透水係数である。

$$\psi = 143.96 \times e^{-8.305 \theta} \quad (\text{cm})$$

$$k = 1.1929 \times 10^{-9} \times e^{19.524 \theta} \quad (\text{cm/s}) \quad (\theta \leq 0.4)$$

$$k = 10^{(-15.059 + 23.818 \theta)} \quad (\text{cm/s}) \quad (0.40 < \theta < 0.54)$$

$$k = 6.35 \times 10^{-3} \quad (\text{cm/s}) \quad (0.54 \leq \theta)$$

4.2 計算結果および考察

実測値と計算値の比較を行った結果、降雨後の含水率などについてはほぼ実測データを再現出来ていた。次に、瓦領域の大きさを変えたり、地表面の状況を変化させて降雨に対する含水率変化を計算し、瓦領域が隣接する改良土壌領域に及ぼす影響について検討した。その結果、現在の土壌領域の含水率分布には瓦領域の設定はそれほど影響しないが、土壌領域の地表面にクラスト層のような難透水層が形成された場合に、瓦領域から20cm離れた所の深さ40cm地点では、瓦領域を設定した効果として、瓦領域が無い場合よりも多くの含水率増加が認められた。

5. まとめ

本研究より、瓦破砕材は有効空隙が大きいため踏圧にも強く、適度な保水性と水はけの良さを合わせ持っていることがわかった。5~10mmの瓦破砕材を約4割（重量比）混ぜることで行った土壌改良では、降雨後の排水速度を上げる効果が観測できた。また瓦破砕材のみを充填した瓦領域を設定したが、土壌表面に難透水層などが形成された場合に、周囲の土壌に水分を供給する効果が数値シミュレーションより予想された。今後も改良土壌地域の土壌硬度変化や桜樹勢の観測を継続し、瓦破砕材を用いた土壌改良法の有効性検討を継続する予定である。

(2010. 7. 24 受理)