

瓦再生骨材としての透水性舗装材および土壌改良材としての性能評価

篠原章宏 ^{*1)}・米田 稔 ²⁾・片岡利仁 ³⁾・尾坂高明 ⁴⁾・新井貴史 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) 株式会社 國陽
- 6) サンアクト株式会社

摘要: 公園等の地面は、造成時の施工や踏圧により硬くなっていることが多い。硬すぎる土壌は根系の生育を阻害し、植物衰退の一因と考えられる。そこで本研究では耐踏圧材として、廃瓦破砕材に注目した。改良土壌として土と瓦を段階的に混合した土壌を提案し、その改良土壌の踏圧に対する性質や歩行者への安全性を調査した。また実際にサクラとシバを栽培し、成長量を評価した。その結果、瓦の配合比を増やすほど、弾力性が強まることが分かり、改良土壌の弾力性はアスファルトや真砂土よりも良い結果となった。またサクラの苗木やシバは真砂土と瓦の混合土壌で良い成長結果を示した。従って、瓦を用いた改良土壌が有用であると言える。

キーワード: 廃瓦破砕材, 土壌改良, 踏圧, サクラ, シバ

1. はじめに

公園植物の植栽基盤は、造成時の機械施工や踏圧によりしばしば硬くなっている事が多い。硬すぎる土壌は根系の生育を阻害し、植物衰退の一因と考えられる。一般的に土壌の締め固めにより、土壌の堅密度が大きくなると、通気性や透水性が悪くなる³⁾。さらに土壌の堅密度の増加により、根に対する機械的抵抗が増え、軟らかい土壌の場合より根系の生長と機能が制限される¹⁾。しかし、公園等の造成時の機械施工の制限や歩行者の抑制による踏圧を減少させることは非常に困難である。そこで、土壌の締め固めが行われた後にも、その透水性等が失われないような土壌改良を検討する。

本研究では、土壌改良の方法として、廃瓦の破砕材を用いる方法を採用した。近年の廃瓦の排出量の増加に伴い、廃瓦の細粒子状に破砕したものやそれらに固定剤を加えたものを、コンクリートやセメントに代わる新しい建築・土木材へと再生する瓦リサイクルが注目され始めている。これまで建

築廃材として処分されるしかなかった廃瓦を、無害で低コストの資材として利用することで、本研究の目的となっている土壌改良だけでなく、リサイクルシステムの推進や環境負荷の低減にもつながると考えられる。

上述のような背景から、瓦の有効再生利用方法・効果を明らかにするという目的を設定し、締め固めた土壌に対して、植物に必要な物理特性を調べた。さらに公園でよく利用され、馴染み深い植物であるサクラとシバを対象とし、それらを改良土壌で育て、その生長を比較した。

2. 物理特性

2.1 実験方法

ここでは、真砂土と瓦 1・5 mm, 瓦 5・10 mm を 20 % 毎に段階的に体積比で混合した土壌について、最適含水比付近に調整した。その後、踏圧に対する抵抗性を見るため、突き固めによる土の締め固め試験 (JIS A 1210 締め固め試験 B 法) を行った。締め固めた混合土壌に対して、乾燥密度、透水係数、正常生育水分量、弾力性を調べた。

2.2 結果

2.2.1 乾燥密度

踏圧に対する構造的抵抗性を見るために乾燥密度を求めた。乾燥密度は土粒子の密度試験 (JIS A 1202) で求めた。その結果を図-1, 図-2 に示す。

全体で見ると、瓦 5・10 mm 100 % で最も乾燥密度が小さくなった。また瓦 1・5 mm と瓦 5・10 mm では、同じ混合率では瓦 5・10 mm の方が乾燥密度が小さくなる傾向にある。またどの粒径の瓦を使用しても、瓦の混合率を上げれば上げるほど、乾燥密度は小さくなった。

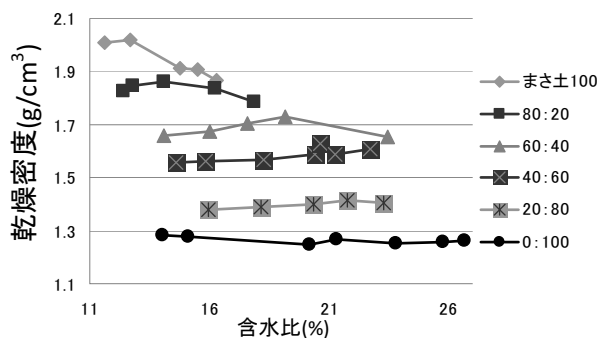


図-1 瓦 1-5 mm の混合率に対する乾燥密度

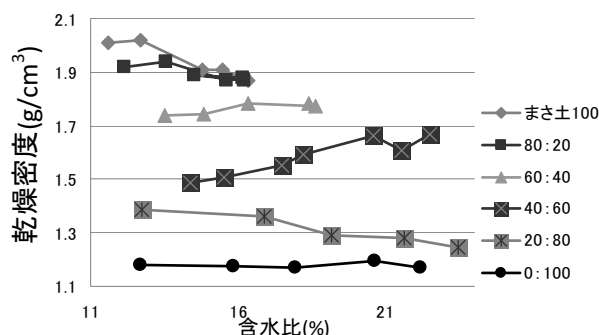


図-2 瓦 5-10 mm の混合率に対する乾燥密度

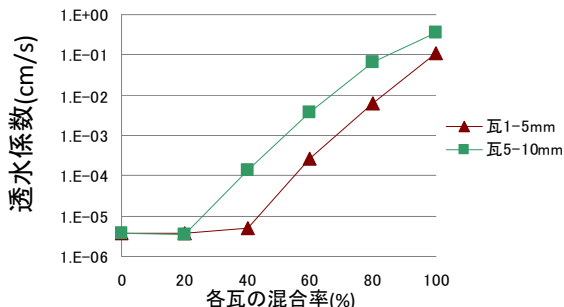


図-3 各瓦の混合率に対する透水係数

2.2.2 透水係数

締め固められた土壌の植物に及ぼす影響を見るため、透水係数を調べた。透水係数は透水試験 (JIS A 1218) で求め、その結果を図-3 に示す。

粒度別に見ると、瓦 1-5 mm では瓦を 40 %ほど混ぜても透水係数はあまり向上せず、瓦 5-10mm では瓦を 40 %以上混合すれば、効果として透水性の向上が見られた。全体として、瓦の混合率を上げるほど透水係数は向上する傾向にある。また瓦 1-5 mm と瓦 5-10 mm では同じ混合率の場合、瓦 5-10 mm の方が透水係数大きい。砂程度の透水係数を確保したい場合、瓦 5-10 mm を 60 %ほど混合すればよい。

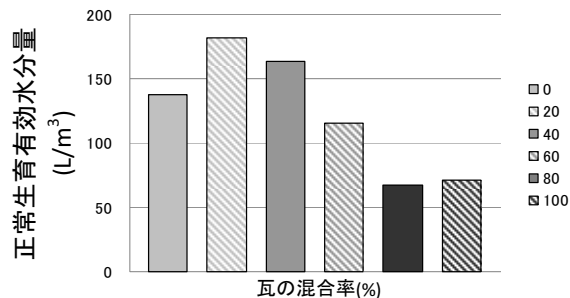


図-4 瓦 1-5 mm の混合率に対する有効水分量

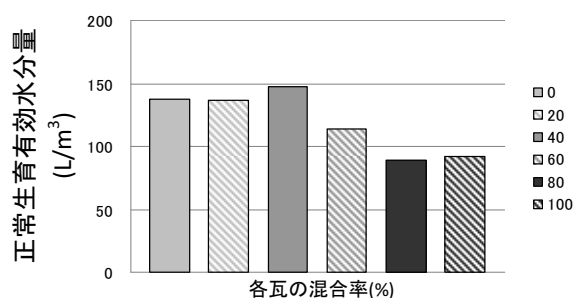


図-5 瓦 5-10 mm の混合率に対する有効水分量

2.2.3 正常生育有効水分量

植物の生育に使うことのできる水分量である正常生育有効水分量は、以下の式で求めることができる。

正常生育有効水分量 = $pF1.8$ 水分量 - $pF3.0$ 水分量
締め固めた土壌に対して、遠心法で各 pF での水分量を求め、正常生育有効水分量を求めた結果を図-4、図-5 に示す

農作物の育成に適すると言われる黒土で正常生育有効水分量が 80~120 L/m³ 程度であり、この値が 100 程度あれば良いと考え、瓦 1-5mm の割合が 80 %以上になると、少し足りなくなる。また瓦 5-10 mm においては、どの混合率でも十分な有効水分量を保っている。

2.2.4 弾力性

本実験では、歩行者の安全性、歩きやすさ等を考慮するために、締め固めた後風乾させた土壌に対して G B 試験・S B 試験を行い、弾力性を求めた。その結果を図-6、図-7 に示す。なお、G B 試験・S B 試験は舗装試験法便覧に基づき行った。G B 係数は衝撃吸収性を S B 係数は反発弾性を表し、一般的に両数値とも低い方が足に良いとされている。

瓦の混合比を大きくすれば、瓦 1-5mm、瓦 5-10 mm 両方とも G B 係数 S B 係数共に低下していく傾向が見られた。このことから瓦の混合割合を高くすれば、足への負担が少なくなると考えられる。また同じ混合比率なら瓦 1-5 mm の方が瓦 5-10 mm より足の負担を軽減する効果が高いと考えられる。

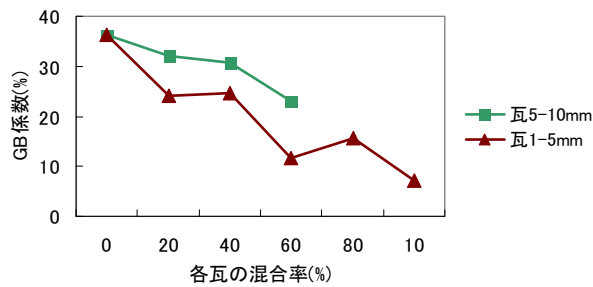


図-6 各瓦の混合率に対するG B係数

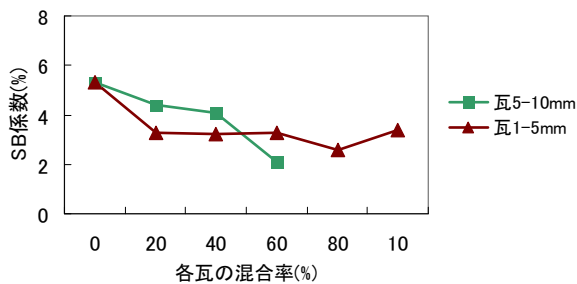


図-7 各瓦の混合率に対するS B係数

2.3 考察

以上の結果より、瓦 1・5 mm、瓦 5・10 mm はそれぞれ長所、短所があり、用途によって使い分けるべきであることがわかる。しかし本実験の目的は土壌への瓦の混合によって、植物の栽培に適した土壌とする、土壌改良方法を確認するというものである。植物の栽培に適した土壌改良という観点で見ると、瓦 5・10 mm を真砂土に 60~80 % 混合した土壌が、締め固め後も乾燥密度が小さく、透水係数が大きく、適度な正常有効水分量、弾力性をもち、最適ではないかと考えられる。

3. 改良土壌でのサクラの苗木の成長評価

3.1 サクラの苗木の植え替え

真砂土に瓦 5・10 mm を体積混合比で 0, 30, 70, 100 % で混合した改良土壌を使用した。8 号鉢に鉢底石としてパミス（軽石）大粒（大江化学工業株式会社）を 1 kg 敷き更にパミス中粒 1 kg を敷き詰め、その上に内径 20 cm、高さ 100 cm の透明アクリル製の筒を垂直に置いた。このとき、筒が傾かないように筒と鉢の隙間に混合土壌を入れた。筒をゆする、水を加える等の操作をして、できるだけ空間を埋めるようにして、上端からの深さが 30 cm になるまで土を加えた。

次に、ソメイヨシノの挿木増殖した自生根同形質苗（日本製紙総合開発）12 本の根を洗った。購入時に植わっていた 4 号のビニール製の鉢植えをはさみで切り裂き、根を露出させた。そこから、根を傷つけないように根に絡まった土を丁寧に落としていった。水を入れたペールに根をつけ水洗いし、

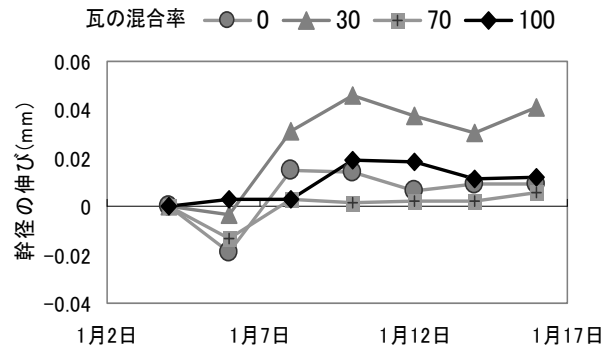


図-8 経過日数と幹径の伸び量

残った土と汚れを落としていった。大体の汚れが落ちた時点で、きれいな水を張ったペールに移し、再び水洗いを行った。

最後に、栽培ポットの深さ 2・3 cm ほどの地点に、サクラの根の上端が位置するように手で固定しながら混合土を加えていった。その際、根が張っている部分の空間に混合土を掻き入れ、なるべく空隙を減らすように心がけた。サクラが自立したら、水を遣り、植え替えを終了とした。またアクリルパイプの周囲を暗幕で包み、地表面下の土に光が当たらないようにした。

3.2 栽培条件

栽培は 24 °C の恒温実験室で行い、光量は葉の上端付近で $120 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、16 時間明期、8 時間暗期とした。また 1 週間に 2 度約 750 ml の水を与えた。瓦の混合率 70 % と 100 % の混合土では、透水性が良いため、植え替え直後の根付いていない状態では十分に水を吸うことができない。そのため最初 1 ヶ月はローラーポンプで定期的に 2 ml/min の水を与えた。

3.3 サクラの生長比較結果

本実験では、それぞれの土壌でのサクラの苗木の幹径と根の伸長を比較することで、生長を比較した。

3.3.1 幹径計測

デジタル外側マイクロメーター MCD130-25（新潟精機株式会社）を用い、幹の地面から 10 cm の部分を 2 日おきに 2 週間計測した。その結果を図-8 に示す。

測定の結果、瓦の混合比 30 % の土壌で優位差が見られた。その他の土壌では大きな変化は見られなかった。

3.3.2 根の伸長

透明のアクリル製栽培ポットの外側から見えた根をデジタルカメラで撮影し、それをグラフィックソフトウェア imageJ（NIH U.S.A）で解析し、根の伸長を測定した。その結果を図-9 に示す。植え替えから撮影まで 40 日間であった。

植え替え時にうまく根付くことができず、葉が全て落ちてしまったサクラの苗木では、根をアクリル製容器の外から確認することはできなかった。そのため図-9 の結果は、根を確認できた各土壌のサクラの苗木の葉のあるものを対象とし

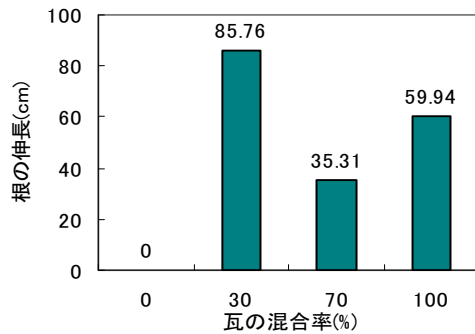


図-9 瓦の混合率と根の伸長量

た。ただし瓦の混合比 0 % の土壌では葉の有無に関わらず、根の伸長を確認することができなかった。

3.4 考察

幹径の成長と根の伸長は共に瓦の混合度 30 % が最も大きいという結果になった。しかし、幹径は日変動が大きく晴天の日や雨天の日でも変動する²⁾。そのため、短期間の測定では日変動の誤差が大きく、短期間の幹径の増加は単純な尺度にならない可能性がある。

根の伸長であるが、葉のある苗はアクリル容器の外からでも根を確認できたが、葉のないものは根を確認することができなかった。また瓦の混合率 0 % の土壌では葉が存在するにもかかわらず、根を確認することができなかった。瓦を混合したことで、土壌に孔隙が増加し、根に対する機械的抵抗が減少し、根の伸長速度が土塊中より速くなったと考えられる。

4. シバの成長評価

4.1 栽培条件

横 53 cm, 縦 34.5 cm, 深さ 5 cm のプラスチック製の容器を 4 個使用し、それぞれに真砂土に瓦 5・10 mm を体積混合比で 0, 30, 70, 100 % で混合した混合土壌を入れ、そこでコウライシバを育てた。栽培は 24 °C の恒温実験室で行い、光量は $150 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であり 16 時間明期, 8 時間暗期とした。また 1 週間に 2 度約 1 L の水を与えた。

4.2 クロロフィル量測定

シバの葉 100・150 g を 2 mm ほどに刻み、乳鉢を使って、磨り潰した後、DMF で抽出し、吸光光度法を用いてクロロフィル量を測定した。

クロロフィル量測定後、実際に人の足でシバを踏み、シバに踏圧をかけた。体重 80 kg で約 10 cm の高さから 100 回踏み、これを 1 セットとし、1 日 1 セットを 1 週間続けた。その後、再びクロロフィル量を測定した。

4.3 踏圧前後のクロロフィル量の測定結果

踏圧前後のシバのクロロフィル量の変化を図-10、図-11 に示す。

クロロフィル a, b とともに、瓦の混合率を上げるほど、踏圧前後でのクロロフィル量の減少が少なくなる傾向にあり、

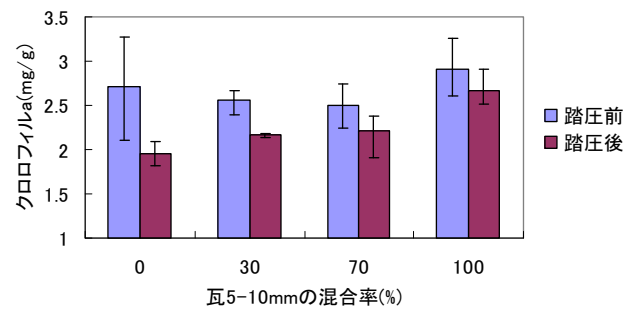


図-10 踏圧前後のクロロフィル a 量の変化

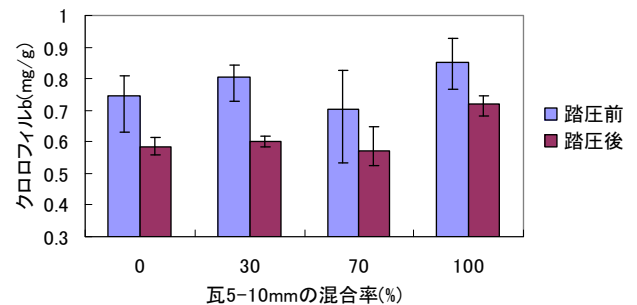


図-11 踏圧前後のクロロフィル b 量の変化

特にこの傾向はクロロフィル a において顕著である。

4.4 考察

本実験の結果は、瓦の混合率を上げるほど、踏圧前後でのクロロフィル減少量が小さくなった。真砂土に対して瓦の粒径は大きく、踏圧をかけた後でも空隙が残りやすい。そのため、土壌が締め固められても、根にかかるストレスが小さく、成長を妨げにくいと考えられる。

5. まとめ

2 章の結論では、瓦 5・10 mm を 60~80 % 混合した土壌が植物の生育に最適という結論に至ったが、3 章や 4 章の実験の結果では、必ずしも 60~80 % 混合した土壌が最も効果があったとは言えない。しかし、本実験すべてを通じて、瓦の混合土壌の方が、真砂土のみの土壌より、踏圧をかけた後でも、植物の生育に有効であった。従って、瓦を混ぜた混合土壌は、耐踏圧性の土壌改良材として有効である。

引用文献

- 1) H.de Kroon, E.J.W.Visser (2008) 根の生態学, シュプリンガー・ジャパン, pp.137-156
- 2) 丸山幸平・福本安正・紙谷智彦(1985) 二、三の広葉落葉樹の幹径の日変動量とそれを左右する環境要因, 日本林學會誌, 67(4): 148-152.
- 3) 寺田正男 (1980) 土壌の堅密度と樹木の根系生長, 日本林學會誌, 62(4): 153-155.

(2010. 7. 24 受理)