

有機肥料を用いた緑化コンクリートに関する研究

Experiment of planting concrete with organic manure

苫小牧工業高等専門学校専攻科環境システム工学専攻 ○学生員
 苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科 正会員
 苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科 正会員
 苫小牧清掃企業組合
 株式会社トマウェーブ

藤田 亮 (Ryo Fujita)
 廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)
 近藤 崇 (Takashi Kondo)
 本間裕章 (Akihiro Honma)
 越後哲哉 (Tetsuya Echigo)

1. はじめに

近年、産業廃棄物の処理方法や種類が多様になり問題となっている。産業廃棄物の排出量を種類別に見ると、汚泥の排出量が最も多く、全体の 45.1%に達している（平成 16 年度）¹⁾。産廃最終処分場の確保が差し迫っている一方で、産業廃棄物総排出量に占める割合の約 18%となっている下水汚泥は下水道の普及とともに増え続けており、従来の埋立て処分では環境問題や処分地の確保など多くの問題を抱えている。特に埋立て処分地の残余年数は全国平均で 6 年程度²⁾しかなく、汚泥を有効に再利用する技術の開発が急がれている。

そこで下水汚泥を加工して作られた有機肥料、道路清掃時に回収された無機汚泥（以下、回収砂と呼ぶ）、建築廃材として発生する木くずを利用した新しいタイプの緑化コンクリートを作製しようとした。緑化コンクリートには植物の蒸散効果によるヒートアイランド現象の抑制、景観の向上などの効果が期待されており、自然と調和・共生が可能なコンクリート技術の一つとして注目されている。

本研究は廣川らの研究³⁾で得られた成果を元にさらに発展・改良を加えたものである。廣川らは表層土に黒土を用いた緑化コンクリートについて研究を行っていたが、施工場所によっては急斜面や河川の親水護岸として使用されることもあり、表層が土では風雨の影響で流失してしまう可能性がある。そこで表層土の部分も緑化コンクリートに置き換えることを考えた。置き換えるにあたって植物が発芽・生育するためには土と同様の性質を有するだけでなく、強度を極端に小さくし植物の根の伸長が可能な硬さに調整する必要がある。透水性・保水性試験により土との性質の比較を行い、緑化コンクリートを土に見立てて土壌硬度計による硬度測定を行い表層部の配合の検討を行った。さらに、屋外で実際に植物が生育するかどうか生長観察を行った。

2. 緑化コンクリートについて

2.1 一般的な緑化コンクリート

緑化コンクリートは建築物や土木構造物の屋上や斜面、あるいは河川の親水護岸、造成法面などの緑化に適用できる。その一般的な構造は、粗骨材を低アルカリ性・高強度の結合材（セメントペーストまたはモルタル）で固めた空隙率 20～30%、厚さ 10～30cm、圧縮強度 10～20 N/mm² の「ポーラスコンクリート」と、保水性・保肥性・耐浸食性に富んだ有機質材料と肥料・種子などを混

練した厚さ 3～5cm 程の「表層基盤」の 2 層で構成される（図-1 左）。さらに、ポーラスコンクリートの空隙には、保水性、肥料効果、アルカリ分の中和に有効な有機質材料を主成分とする「充填材」が満たされており⁴⁾、⁵⁾植物は、充填材中に根を伸ばし、充填材から栄養分を吸収して生育する。

2.2 木くず・有機肥料混入緑化コンクリート

(1) 肥料混入緑化コンクリート

肥料混入緑化コンクリートは、モルタルに有機肥料を混入させたコンクリートの上部に表層土を施工し、植生を施したものである（図-1 右）。植物の根は、モルタル中を連続するように分散させた肥料部分を通り伸長する。そして肥料が時間の経過とともに溶出して連続した空隙となり、さらに根が伸長しやすい環境を形成する。肥料混入緑化コンクリートには、

- 1) 肥料を混入しているため植物の生長が促進される。
- 2) 肥料が持つ保水力により耐乾燥性が高まる。

以上のようなことを期待したが、保水力があまりないことがわかった。

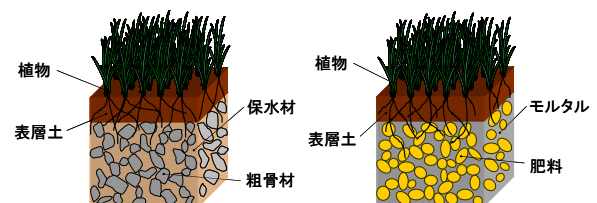


図-1 一般的な緑化コンクリートの断面構成の例(左)
 肥料混入緑化コンクリートの断面構成(右)

(2) 肥料・木くず混入緑化コンクリート

肥料混入緑化コンクリートに木くずを混入させたものである（図-2 左）。構造的には肥料混入緑化コンクリートと同じであるが、木くずを混入したことにより、

- 1) 木くず同士の絡み合いや、木くずが朽ちることにより空隙が増え、根が入り込みやすくなる。
 - 2) 木くずの保水力によってさらに耐乾燥性が高まる。
- 以上のようなことを改善した。

本研究では一般的なポーラスコンクリートの強度が 10 N/mm² 以上確保されていることから、目標強度を 10 N/mm² に設定している。廣川らの研究³⁾により W/C=45%、肥料混入率 10%、木くず混入率 1%であれば、おおよそこの目標強度を達成できることがわかっている。

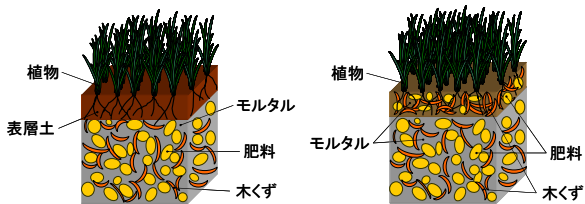


図-2 肥料・木くず混入緑化コンクリートの断面構成(左)
表層用緑化コンクリートを用いた場合の断面構成(右)

(3) 表層用緑化コンクリート

木くずとモルタルと肥料を混入したものであり、肥料・木くず混入緑化コンクリートの木くず量を大きく増やしたものである。図-2 右の上層部分がそれにあたり、木くず量を極端に増やしたことで強度が下がり、表層土の代わりとしてこのコンクリートを用いることができると考えた。表層用緑化コンクリートの特徴として

- 1) 木くず量が多く腐朽により空隙ができやすいので他の緑化コンクリートよりも根が入り込みやすい。
- 2) 木くずの噛み合いにより空隙がすでに形成されており、根が伸びるスペースが確保されていることから、表層土がなくても植生が可能となる。

以上のようなことが挙げられる。図-2 右に示すように、上層に植物の発芽・生育環境に適した表層用緑化コンクリートを用い、下層には目標強度をおおよそ達成できている W/C=45%、肥料混入率 10%、木くず混入率 1%のモルタルを用いた2層型の緑化コンクリートを想定している。この表層用緑化コンクリートの配合を決定するために様々な研究を行った。

3. 実験概要

3.1 実験材料

有機肥料(写真-1)は、下水汚泥や食品廃棄物であるコーヒークずや茶かすを原料に、廃タイヤを熱源として加工したものである。

木くず(絶乾密度=0.27g/cm³)は建築廃材として発生するものを使用した。ふるいによって大きさを大(5mm以上)、中(2.5~5mm)、小(2.5mm以下)に分けて実験に用いた。

セメントは、溶出するアルカリ分をなるべく低くするため、アルカリ度の低い高炉セメント B 種(密度=3.04g/cm³)を使用した。また細骨材は回収砂(密度=2.67g/cm³、写真-2)を用い、混和剤に AE 減水剤(変性リグニンスルホン酸)を用いた。



写真-1 有機肥料



写真-2 回収砂

植物には芝を用いた。今回はペレニアルライグラスという草種の APM という品種を使用した。コンクリートはアルカリが強いため、アルカリに強い品種を選定した。ペレニアルライグラスは寒地型の芝であり、発芽・初期

育成が早く、芝生を造りやすい草種である。また APM は pH8.3 まで耐えることができる⁶⁾。

3.2 実験方法

(1) 硬度試験

表層用緑化コンクリートは表層土の代わりに用いることを想定しており、ある程度の硬さを保ちつつ植生が発芽・成長することのできる性質が求められる。そこで、土壌の性質を評価する指標の一つである土壌硬度を山中式土壌硬度計を用いて測定し、その適否を判断する試験を行った。植物の根系が伸長しうる土壌の硬さには限界があり、植物の種類によっても異なるが根の伸長圧はこの硬度計による硬度指数で 25mm 程度とみなされているため基準を 25mm とした。以下に実験方法を示す。

- 1) 表-1 に従ってセメント、細骨材、水、AE 減水剤を 3 分間練り混ぜた後に、表-2 に示す配合パターンで有機肥料を混入して 15 秒間ほど練混ぜる。肥料を最後に入れるのは、練混ぜ時に肥料の溶出をなるべく抑えるためである。なお、木くずを使用する場合はセメントや細骨材等と同じタイミングで混入し練混ぜる。そしてこの場合は木くずが周りの水分を吸収することを防ぐため、木くずを表乾状態近くまであらかじめ吸水させてから混入させる。吸水させる量は、絶乾重量の木くず 1g に対し、水 2.5g とした。
- 2) 締固め回数を 50 回とし、紙製円柱供試体型枠に詰め、初めの 5 日間は湿気箱による湿潤養生をし、その後気乾状態で試験日まで室内に放置した。
- 3) 7 日後、28 日後、91 日後に硬度計を用いて硬度を測定する。供試体は各材齢で 1 つずつ作製し、1 つの供試体から 3 回計測を行い、その平均値を土壌硬度指数とした。

表-1 モルタルの配合(単位:g)

W/C	水	セメント	細骨材	AE 減水剤
45%	1168	2650	5302	26.5

表-2 硬度試験用供試体の配合パターン
(木くずおよび肥料混入率は、モルタル重量に対しての割合)

肥料(%)	木くず量(%)	木くず種類
10	25	大
		中
		小
	30	大
		中
		小

(2) 透水性試験

表層用緑化コンクリートの透水性を測定して土と比較してどのような性質を有しているかを、土の透水試験で用いる透水試験器を使って調べた。以下にその試験方法を示す。

- 1) 内径 5cm、長さ 5cm の試料円筒に硬度試験と同様な配合パターン、方法でコンクリートを練混ぜ、2 層に分けて 1 層 20 回で締固める。
- 2) 供試体を水に 24 時間以上浸して飽和させる。

- 3) 透水試験装置で定水位透水試験を行い、ある透水量に対する時間を測定する。1 パターンの配合に対して 1 つ供試体を作り、3 回透水試験を行いその平均値をとる。

(3) 保水性試験

透水性試験と同様に表層用緑化コンクリートと土を比較してどのような性質を有しているか試験を行って調べた。以下にその試験方法を示す。

- 1) 配合表を表-3 に示す。この配合表に従って硬度試験と同様にモルタルを練混ぜ、3 連型枠に 2 層に分けて 1 層の締固め回数を 10 回として詰める。
- 2) 供試体を 28 日湿潤養生後に型枠を取り除き、できるだけ供試体上面でのみ水分が蒸発するように上面以外をラップとガムテープで包む。
- 3) 24 時間以上水に浸し飽和状態にする。
- 4) 水から取り出し布などで水気をきり、20℃で管理された恒温室に放置し 1 日ごとに供試体の重量を測定する。この恒温室では湿度の管理はできなかったのですべての供試体の試験を同時に始めることで、条件を同じとした。
- 5) 測定開始から 10 日後に供試体を乾燥機にかけ絶乾状態にして重量を測定し、測定日ごとの供試体 1cm³ 中に含まれる水の重量を計算する。

表-3 保水性試験用供試体の配合パターン

肥料(%)	木くず(%)	木くずの種類
0	25	大
		中
		小
10		大
		中
		小

(4) 屋外生長観察

実際に屋外で植物が生長するかどうか、ある程度の大きさの供試体を作製して生長観察を行った。予備実験の結果、木くず（大）、（中）で供試体を作製すると屋外に置いたとき風雨の影響で木くずが剥落し、芝の発芽もほとんど見られなかったため、木くず（小）を上層に用いた供試体を作製して生長観察を行った。その配合パターンを表-4 に示す。

表-4 屋外供試体の配合パターン
(下層の肥料混入率 10%, 木くず混入率 1%は共通)

肥料(%)	木くず量(%)	木くず種類
10	25	小
	30	
	35	

縦 30cm×横 30cm×高さ 20cm（上層 5cm, 下層 15cm）の供試体を硬度試験と同様な方法で練り混ぜを行い十分に締固め 5 日間散水養生後、気乾で養生を行った。28 日経過後に屋外に設置し種を播いて植物の生長

を観察した。

4. 実験結果・考察

4.1 硬度試験

試験結果を図-3 に示す。この結果から木くず（大）または（中）のものが 25mm を下回ったため植物の生長に適した硬度を持っているといえる。これは木くずが大きいことで空隙も大きくなり、木くず同士を接着しているセメントの接着面積が小さくなったことが考えられる。逆に木くず（小）では木くずが小さいことで噛み合いがよく締固めがしやすく密となるためセメントの接着効果の阻害があまりないことから硬度が大きくなったことが考えられる。

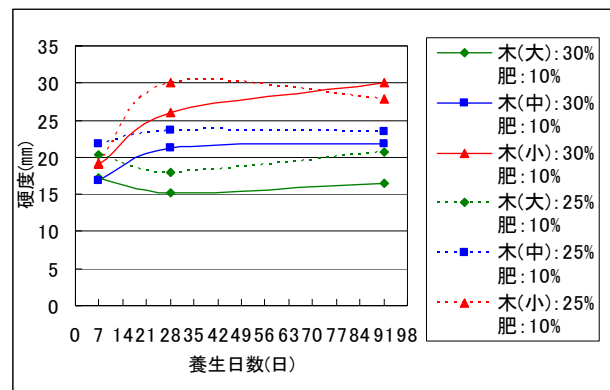


図-3 硬度試験結果 (W/C:45%)

4.2 透水性試験

試験結果を表-5 に示す。透水係数は土壌中の空隙を水で飽和させた状態での水の透過速度で、植生の旺盛な土壌で 10⁻¹~10⁻²cm/s 普通の植生を示す土壌で透水係数は 10⁻²~10⁻⁴cm/s と言われている。試験結果から透水係数はどの配合も 10⁻²~10⁻⁴cm/s の範囲に収まっており、植物の生長には適することがわかった。

また、木くずの大きさや混入率による比較では、木くずが大きくなるほど混入率が増えるほど透水係数は大きくなることがわかった。木くずが大きくなるほど混入率が増えるほどその木くずの噛み合いにより空隙も大きくなり透水係数も大きくなったことが考えられる。

表-5 透水性試験結果

配合 (W/C:45%, 肥料 10%は共通)		透水係数 (cm/s)
木くず 30%	大	3.32 × 10 ⁻²
	中	6.42 × 10 ⁻³
	小	2.94 × 10 ⁻³
木くず 25%	大	2.11 × 10 ⁻²
	中	4.60 × 10 ⁻³
	小	3.09 × 10 ⁻³
土のみ		2.82 × 10 ⁻⁴

4.3 保水性試験

試験結果を図-4 に示す。土の保水性に近い値を示したのは木くず（小）の供試体であった。一般にコンクリート内部の水分は空隙に依存し、その細孔径が小さいほ

ど表面張力の影響を受け水の拘束力が強い。木くず（小）は空隙が小さいために拘束力が強く、従って土に近い値を示したことが考えられる。また、図-5 の傾きは蒸発のしやすさを示すが、傾きはどの供試体もほとんど変わらない。このことから木くずの大きさによって蒸発のしやすさの差はほとんど見られないことがわかった。

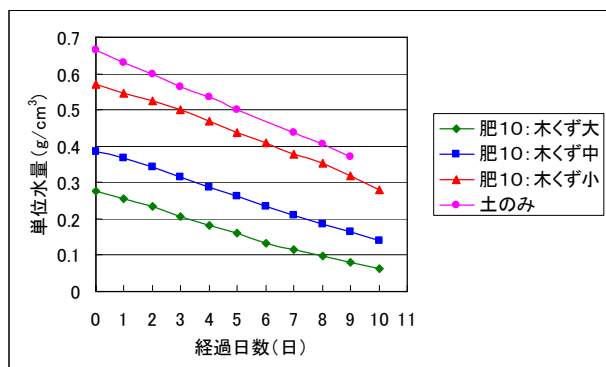


図-4 保水性試験結果

4.4 屋外生長観察

写真-3, 4 に予備実験で作製した W/C=45%, 肥料混入率 10%, 木くず（大）30%の供試体を示す。打込み時から剥落が多く、設置後風雨の影響を受けて木くずや種が飛散してしまい、植物の発芽がほとんど確認できなかった。



写真-3 打込み後



写真-4 設置4ヶ月後

次にこの予備実験の結果をもとに作製した、屋外供試体の生長の様子を写真-5～10 に示す。写真-5 は供試体作製 28 日経過後に屋外に設置したときの写真である。次に写真-6 は供試体に直接種まきを行い、水やりを行った直後の写真である。種まき直後にだけ水やりを行い、後は自然の状態で芝の発芽を待ったが、発芽しなかった。種を直接播いた状態では、種が空气中にむき出しとなり乾燥しやすくなったため発芽しなかったと考えられる。

そこで、供試体上面を 2～3mm 程度の厚さの土で覆い、そこに再度種まきをしたものが写真-7 である。その後、写真-8 のように芝の発芽、生長が確認できた。しかし、6 週間経つと写真-9 のように芝がまばらに生えてしまった。その大きな要因として乾燥が考えられる。この供試体の場合、側面が空气中に触れているために側面からも水分の蒸発が起こり、乾燥しやすかったことが考えられる。

また、設置後 6 週間の供試体の上層を下層から剥がして根が上層を貫通しているかどうか観察してみた。写真-10 の上の面が上層の下面であり、下の面が下層の上面である。丸印で示したところに上層から芝の根が貫通して生えていることがわかる。この写真ではわかりにくい

が芝の根が上層の下面に貫通していることが至る所で確認できた。

硬度試験の結果からは植物の根の伸長圧の目安である 25mm より硬いために根の伸長は難しいと考えられたが、実際に屋外で生長観察を行うとまばらではあるが芝の生長が確認できた。これは硬度試験を乾燥状態で行ったために硬度が見かけではあがっていたことが考えられる。



写真-5 設置直後



写真-6 種まき後



写真-7 設置後 10 日



写真-8 設置後 18 日



写真-9 設置後 6 週間



写真-10 芝の根

5. 結論

以上のことをまとめると次の通りである。

- 1) 硬度、保水性、透水性の各試験、生長観察の結果より表層用緑化コンクリートとして W/C=45%, 肥料混入率 10%, 木くず（小）25%以上の配合が現段階では実用的である。
- 2) 木くず（小）混入率 25%以上であれば植物の生長が屋外でも確認でき、根の進入も確認できた。よって 2 層式の緑化コンクリートでも植生は可能である。

6. 参考文献

- 1) 環境省 廃棄物の発生量
<http://www.env.go.jp/index.html>
- 2) 社団法人日本下水道協会 汚泥処理の現状
<http://www.jswa.jp/index.htm>
- 3) 廣川一巳, 近藤崇, 高野綱康: 『有機肥料を用いた緑化コンクリートに関する基礎的研究』, 土木学会北海道支部論文報告書第 62 号, 2006
- 4) 柳橋邦生: 『コンクリートに草が生えるわけ』, ポーラスコンクリートの製造とこれからがわかる本, p.20～26, 2001
- 5) 安藤慎一郎: 『緑化コンクリートの要求品質と製造のポイント』, ポーラスコンクリートの製造とこれからがわかる本, p.28～37, 2001
- 6) 雪印種苗株式会社 パンフレット