

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

Experiment of planting concrete with organic manure

苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科	正会員	廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)
苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科	正会員	近藤 崇 (Takashi Kondo)
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	高野綱康 (Tsunayasu Takano)
苫小牧清掃企業組合		本間裕章 (Akihiro Honma)
株式会社トマウェブ		越後哲哉 (Tetsuya Echigo)

1. はじめに

近年、産業廃棄物の処理が問題になっている。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、産業廃棄物の排出量全体の5割近くにも達している¹⁾。とりわけ下水汚泥は下水道の普及とともに増え続けており、産業廃棄物総排出量に占める割合は約19%となっている(平成14年度)²⁾。しかし現在では、下水汚泥の約6割しか有効利用されていない(平成14年度)。埋め立てて処分するという従来の対応策では、環境問題、埋立処分地の確保など多くの問題があり、現在、汚泥を有効に再利用する技術が急がれている。

また近年の緑化ニーズの高まりも受けて、本研究では下水汚泥を主とした産業廃棄物を加工して作られる有機肥料や、建築廃材として発生する木くずを、緑化コンクリートとして有効利用できないかを検討しようとした。

本研究では、産業廃棄物をコンクリートと組み合わせた新しいタイプの緑化コンクリートを開発し、その基礎的資料を得ることを目的とした。

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などの緑化に適用でき、壁面や造成法面を直接緑化できる。その構造は一般的には、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10~20N/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)。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^{3),4)}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。

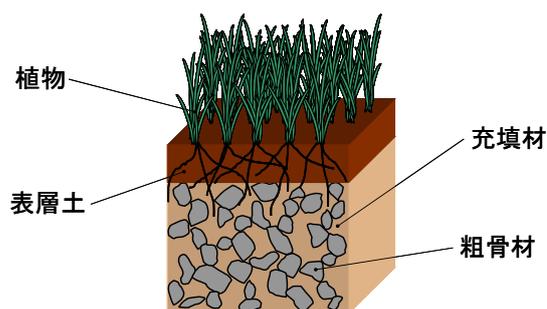


図-1 一般的な緑化コンクリートの断面構成の例

2-2 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ベースのコンクリート上部に表層土を施工し、植生を施したものである(図-2)。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の特徴として、

- 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考えた。

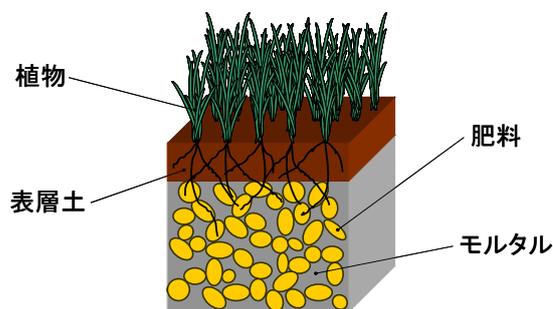


図-2 肥料混入緑化コンクリートの断面構成

2-3 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-3)。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) 木くずの持つ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考えた。

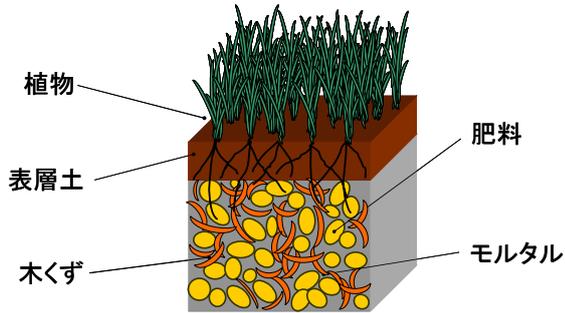


図-3 肥料・木くず混入緑化コンクリートの断面構成

3. 実験概要

3-1 使用材料

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かすや茶かすを原料に、廃タイヤを熱源として加工したものである。表-1 にその成分を示す。

木くず(絶乾密度=0.27)は建築廃材として発生するものを使用した。大きさを揃えるため、5mm ふるいを通したものを実験に用いた(写真-2)。

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=3.04)を使用した。また細骨材は浜厚真産陸砂(密度=2.77)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。表層土には、市販の黒土と有機肥料と植物の種を混合したものを用いた。

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⁵⁾。



写真-1 有機肥料



写真-2 木くず

表-1 肥料の原料と成分の含有量

原料	主要な成分の含有量	
下水汚泥肥料	窒素全量	2.2%
工業汚泥肥料	リン酸全量	3.0%
動物質原料	カリ全量	0.5%未満
植物質原料	炭素比	13%
粉炭・小麦製品	水分含有量	6.6%

3-2 実験方法

(1) 強度試験

表-2 の配合で作製したモルタルをベースに、表-3 に示す肥料・木くずを混入した供試体を作製し、強度を測定した。目標とする強度は、ポーラスコンクリートの指針とされる 10N/mm²を参考に、本研究では 10N/mm²とした。実験手順を以下に示す。

- 1) セメント、細骨材、水、AE 減水剤を 3 分間練混ぜた後に、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時に混入し練混ぜる。そしてこの場合は木くずが周りの水分を吸収しないよう、あらかじめ木くずを表乾状態近くまで吸水させてから混入させる。本実験では乾燥機で乾燥させた木くず 1g に対し、水が 2.5g 吸水するものとして練混ぜた。
- 2) 締固め回数を 1 層 50 回とし、2 層に分けてモルタル用三連型枠に詰めた。その後湿潤養生によりある程度の硬化を確認後脱型し、養生を続けた。
- 3) 7 日後、28 日後、91 日後の強度を測定した。なお、1 度の強度測定に対して供試体を 3 本使用した。

表-2 各 W/C のモルタルの配合 (単位:g)

W/C	水	セメント	細骨材	AE 減水剤
30%	856	2949	5898	29.5
45%	1168	2650	5302	26.5
60%	1425	2416	4830	24.2

表-3 各 W/C の肥料及び木くずの配合パターン (混入率はモルタル重量に対する割合を示す)

W/C (%)	肥料混入率 (%)	木くず混入率 (%)
30	10, 20	0
45	10, 20	0, 1, 3, 5
60	10, 20	0

(2) 生長観察

作製した供試体に芝を植生させ、根の入り込み具合や、成長の様子を観察した。実験手順を以下に示す。

- 1) 強度試験と同じ配合・方法で練り、締固め回数は各層 50 回とし、3 層に分けて紙製円柱供試体型枠（直径 10cm、高さ 20cm）に詰める。表層土を乗せるため上部は 2~3cm 残して詰める。（写真-3）
- 2) 7 日間湿潤養生させた後、表層土を詰め（写真-4）、土が浸るくらいまで水を与える（写真-5）。
- 3) 2 日に 1 回程度の割合で水を与える。発芽後、配合パターンの違いによる芝の生長の様子を目視で観察し、写真撮影を行う。



写真-3

写真-4

写真-5

4. 結果考察

4-1 強度試験

水セメント比および肥料混入量の違いによる強度の比較を行った。各配合パターンの強度を図-4 に示す。

試験結果より、水セメント比 45%・肥料混入率 10%程度であれば、長期強度で見た場合、目標強度である 10N/mm^2 を達成できることがわかった。一方、水セメント比 30%のものや、肥料を 20%混入したものは長期間養生していても目標とする強度には及ばなかった。いずれの水セメント比でも、肥料混入量が多いほど強度が低下する傾向が見られた。これは混入量が多いほど、不純物によりセメント粒子間が遠くなってしまうためや、水和初期段階において、セメント硬化に必要なモルタル中の水分が肥料に吸収されたためと考えられる。

さらに、練混ぜ時には肥料から有機物が溶出していると思われる、肥料混入量が多くなるとそれだけ有害である有機物が増えることになり、これによって水和反応が阻害され、強度低下を招いたと考えられる。

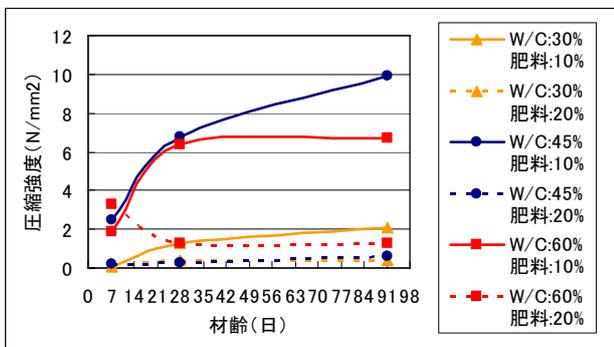


図-4 各配合パターンの圧縮強度

一方、木くずを混入させた供試体の強度は、図-5 に示すように、木くず混入量が多くなるにつれ強度は低下していくことが分かる。木くず 1%までの混入ならば、極端な強度の低下がみられないが、5%以上混入すると、十分な強度が得られなくなることが分かった。また現在の配合ならば、木くず 1%程度であれば木くず吸水量の調整、均質な練混ぜなどによって、目標強度である 10N/mm^2 を達成できると考えられる。

また実験より得られたグラフは、多少不自然な強度の推移を示しているが、これは供試体が均質なものができていないためであると思われる。木くずは 1%でもかなりのボリュームがあり、形状も細長くだまになりやすいため、練混ぜ時に均質に混ざっていない可能性がある。さらに詰め方にも個人差があり、その影響で均一な供試体にならず、結果としてばらつきが大きくなったと考えられる。

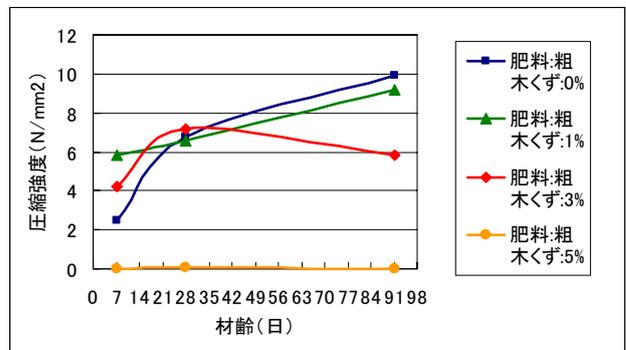


図-5 木くず混入供試体の強度

4-2 成長観察

木くずの有無に関わらず、どの配合パターンでも芝はすべて発芽し、ほぼ同じような生長の様子を呈した。写真 6~13 は、W/C=30%、肥料混入率 10%供試体芝の生長の様子を示したものである。なお写真のキャプションは、種蒔からの日数を示す。

生長観察の結果、80 日（写真-12）を越えたあたりから著しい芝の生長は見られなくなった。これは写真-14 から分かるように、表層土が根で密集していることが原因と考えられる。芝が生長するためには地上部、地下部の双方に生長できる空間が必要である³⁾。ところが今回の供試体では根の育成空間が不足し、根が詰まって養分の吸収に競争が起こり、互いに吸収を阻害するようになったため、生長が停止したと思われる。しかし、2 年以上経過した供試体であっても、根腐れなどの問題も起きず枯れないでいたことから、水の管理をしっかり行えば枯死することは無いと思われる。



写真-6 7日後



写真-7 14日後



写真-8 32日後



写真-9 45日後



写真-10 55日後



写真-11 73日後



写真-12 80日後



写真-13 24ヶ月後

写真-14~16 は種蒔から4ヵ月後の W/C=45%、肥料 10%・20% 供試体の芝の根の様子を示している。写真-14 は型枠を外し供試体側面から撮影したものであり、写真-15、16 は表層土と供試体の境界面の中心部を撮影したものである。

4ヶ月経過した芝の根は十分に発達しており、コンクリート上面の肥料部分に、数 mm 程度であるが、入り込んでいることが確認できた。これに対し、比較のために作製した肥料混入率 0% の供試体では、芝を6ヶ月成長させても根が入り込むことはなく(写真-17)、肥料混入は植生に有効であることが分かった。

しかしながら、モルタルと一緒に肥料や木くずを練混ぜると、肥料中へのモルタルの浸透やモルタルによる被覆で予想以上に肥料が硬くなることが分かった。コンクリート中に根を伸ばさせやすくするためには、芝よりもっと根の強い植物を選定するか、空隙(もしくはそれに値する混入物)を増やすことが必要であると思われる。



写真-14 W/C=45%, 肥料=10%



写真-15 W/C=45%, 肥料=20%

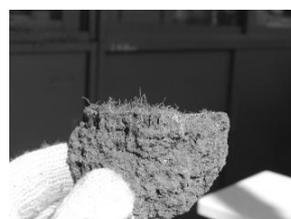


写真-16

W/C=45%, 肥料=20%



写真-17

W/C=45%, 肥料=0%

5. 結論

- 1) 肥料・木くずの混入量が多くなるほど強度は低下するが、W/C=45%、肥料=10%の配合であれば、長期強度で目標強度の 10N/mm^2 をほぼ達成できる。
- 2) 木くずの混入が 1%程度までならば、大きな強度低下は見られない。
- 3) 肥料を混入させた供試体では、コンクリート上部の肥料部分に数 mm の根の進入が確認でき、肥料混入は植生に有効である。

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) 柳橋邦生：『コンクリートに草が生えるわけ』，ポ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
- 4) 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
- 5) 雪印種苗株式会社 パンフレット