

# 論文 緑化コンクリートに生育した植物の耐乾燥性に関する研究

柳橋邦生<sup>\*1</sup>、米澤敏男<sup>\*2</sup>、山田敏昭<sup>\*3</sup>、足立憲彦<sup>\*4</sup>

**要旨:** 水分条件が厳しい環境における緑化コンクリートの適用性を検討するため、緑化コンクリートを構成材料の厚みや底部に設けた客土層の種類と厚みを変化させて植生評価を行った。評価の結果、緑化コンクリートの長期の干ばつに対する耐性は良質の土壌と同等であり、底部に設けた保水層によりさらに耐乾燥性が向上することが確認できた。また、実際に背面からの水分供給のない軽量盛土法面上にてポーラスコンクリート内部に客土層を設けた緑化コンクリートの施工を行い、長期間無灌水で植物の生育が可能であることが確認できた。

**キーワード:** 緑化コンクリート、ポーラスコンクリート、保水材

## 1. はじめに

緑化コンクリートは、ポーラスコンクリートをベースに、その空隙部分に保水材を充填し、表面に薄層の客土を固着させた植栽基盤用コンクリートであり、これまで河川護岸や各種盛土面・切土面、建築物の外部等に適用を行ってきた[1]~[3]。これに加え昨今では、岩盤法面や既設のコンクリート・モルタル面といった水分条件の厳しい環境で緑化コンクリートを適用することが求められている。筆者らは、緑化コンクリートの保水性を向上させてこれらの部分に適用可能となるよう、緑化コンクリートの内部に保水性の高い客土層を埋め込むことを考案し、その厚みや種類が耐乾燥性に及ぼす影響について検討を行った。さらに、背面からの水分供給が期待できない軽量盛土法面上にこの内部客土層を設けた緑化コンクリートの施工を行い、その効果を確認した。

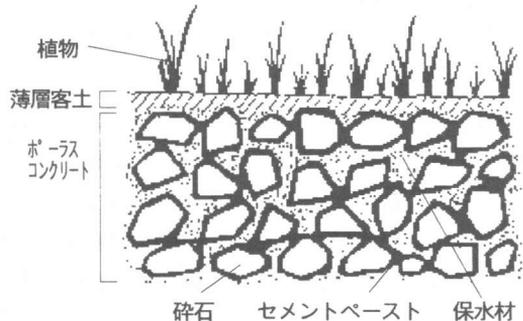


図-1 緑化コンクリートの構成

## 2. 耐乾燥性実験

### 2.1 実験

**因子と水準:** 緑化コンクリートの構成材料のうち、保水性に影響を与える因子として、ポーラスコンクリートの厚みや空隙率、充填保水材の量や種類、薄層客土の厚みや種類が考えられる。また、緑化コンクリートの内部に客土層を設ける場合、その量と種類も保水性に影響を与える。本実験ではポ

表1 因子と水準

因子	水準
ポーラスコンクリートの厚み	15cm, 30cm
底面客土の厚み	0cm, 5cm, 10cm
底面客土の材料	A:パ-ライト, B:ピ-トモス, C:パ-ク, D:珪藻土 E:パ-ライト-ピ-トモス(1:1) F:パ-ク-ピ-トモス(3:1) G:珪藻土-ピ-トモス混合土 H:パ-ライト-吸水性高分子(9:1) I:パ-ライト-ピ-トモス-吸水性高分子(5:4:1) J:パ-ライト-パ-ク-吸水性高分子(5:4:1)
薄層客土厚み	3cm, 6cm

\*1(株)竹中工務店 技術研究所 (正会員)

\*2(株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員 (正会員)

\*3(株)竹中土木 技術本部 (正会員)

\*4(株)竹中土木 技術本部

ーラスコンクリートの空隙率、充填保水材の量と種類、薄層客土の種類を一定条件とし、表1の因子を変化させて保水性に違いを持たせ、植栽した芝の植生評価を行った。実験の因子と水準の組合せを表2に示す。なお、比較のため、良質土壌を30cmおよび45cmの厚みで使用した試験体も製作した。

**試験体の寸法と数量**：試験体は、図2に示すように平面20cm×20cmのポーラスコンクリートの底面に保水用の客土層を、上面に薄層客土を固着させ、ノシバを植栽したものであり、周囲と底面を発泡スチロールで覆った。1条件当たりの繰り返し数は2とした。試験体No.3は、試験開始時の根の進入深さを調べる目的でさらに試験体を2体製作した。

**試験体の製作手順**：5cmの発泡スチロール製型枠の底部に各種の客土材料を所定の厚さ敷き込み、その上にポーラスコンクリートを打設した。試験体上部をシートで覆い、1週間散水養生を行った後、保水材を充填した。粉碎ピートモスを主成分とする保水材に水と増粘剤を加え、スラリー状にしてポーラスコンクリートの上面から

充填した。薄層客土は、ピートモス、バーク堆肥、化成肥料、結合剤で構成される材料を所定の比率で混合し、因子と水準に従って所定の厚みに塗り付けた。植栽はノシバの種子を薄層客土に各試験体当たり10gを試験体上面に播いた。比較用の良質土壌は薄層客土と同一の材料を使用し、発泡スチロール製型枠内に充填した。

**コンクリートの使用材料と配(調)合**：コンクリートの使用材料および配(調)合を表3および表4に示す。セメントは高炉セメントC種とし、水粉体比25%、目標空隙率27.5%とした。

**植物の播種と生育**：試験体の製作を冬季に行ったため、ノシバを2ヶ月間人工気象室にて発芽・生育させた後、2ヶ月間、屋外のビニールハウスで生育させた。人工気象室の条件は、温度を25~30℃、8000Luxの蛍光灯による照明を12時間/日とした。生育期間中は、1日あたり3mm雨量相当の水を灌水した。試験体No.3を鉛直方向に割裂し、内部の芝の根の進入深さが18cmになったことを確認した後、無灌水状態に移行し、測定・観察を行った。

**測定項目**：測定項目は、芝の植生評価、生育高さ、有効保水量、環境温度とした。芝の植生評価は、試験体への灌水を中止して無灌水状態に移行し、芝の生育状態を6段階で評価した。評価の基準は、芝全体が旺盛に生育し緑の状態(5点)、全面緑の

表2 因子と水準の組合せ

No.	ポーラスコンクリートの厚み(cm)	底面客土の厚み(cm)	底面客土の材料	薄層客土の厚み(cm)
1	15	0	なし	3
2	15	0	なし	6
3	30	0	なし	3
4	30	0	なし	6
5	15	5	パーライト	3
6	15	5	パーライト	6
7	15	10	パーライト	3
8	15	10	パーライト	6
9	30	5	パーライト	3
10	30	5	パーライト	6
11	30	10	パーライト	3
12	30	10	パーライト	6
13	15	5	ピートモス+バーク	3
14	15	5	ピートモス	3
15	15	5	バーク	3
16	15	5	珪藻土	3
17	15	5	パーライト+ピートモス	3
18	15	5	パーライト+バーク	3
19	15	5	珪藻土+ピートモス	3
20	15	5	パーライト+吸水性樹脂	3
21	15	5	ピートモス+バーク+吸水性樹脂	3
22	15	5	パーライト+ピートモス+吸水性樹脂	3
23	15	5	パーライト+バーク+吸水性樹脂	3
24	良質土壌(比較用)厚さ 30cm			
25	良質土壌(比較用)厚さ 45cm			

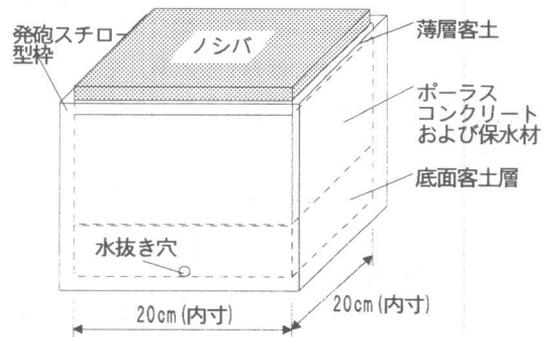


図2 試験体の形状

状態(4点)、10%程度の面積が黄変(3点)、50%程度が黄変(2点)、90%程度の面積が黄変(1点)、芝全体が黄変(0点)、葉が緑でも丸まっている状態をそれぞれの状態から0.5点減点とした。評価の頻度は週に2~3回とし、2ヶ月間測定を行った。

試験開始時の生育高さは、無灌水状態に移行した時のノシバの生育高さをmm単位で測定した。

有効保水量は、使用した客土材料を土質工学会基準JSFT151-1990に準拠し遠心法によるpF試験を行い、pF値2.0と3.6の差を個々の材料の有効保水量とした。個々の材料の有効保水量と各試験体における構成材料の使用量から各試験体の緑化面積当たりの有効保水量を算出した。

環境温度は、無灌水状態での芝の植生評価を行った期間、温室上部、地表面、および試験体 No.3 の芝の表面で温度を測定した。

## 2.2 実験結果

**底面客土層がない場合の植生状況：**底面に客土を設けていない試験体の植生評価の結果を図3に示す。いずれの試験体も時間とともに植生状況が低下していくが、全体が黄変するまでの期間は緑化コンクリートが20~40日、30cmの良質土壌で30日、45cmの良質土壌で40日であった。

全体が黄変した後も、水が供給されれば芝は再生するため、乾燥に耐える期間を全面が黄変するまでの期間とすると、緑化コンクリートは30cmの良質土壌と差がない。ただし、植物の生育が低下する速度は、良質土壌に比較して緑化コンクリートの方が早い傾向が認められる。

無灌水状態で植生評価を行った際の環境温度を図4に示す。夜間は、温室上部、地表、芝の表面温度はともに10~20℃程度、日中は最高40~60℃まで上昇し、本実験での無灌水状態が梅雨明けから夏季にかけての渇水状態に近かったと考えられる。

**パーライトを底面客土材に使用した場合の植生状況：**薄層客土の厚みを3cm、パーライトを底面客土材とし、ポーラスコンクリートの厚みを15cmおよび30cmとした場合の無灌水状態での植生評価結果を図5および図6に示す。底面客土層のない図5のNo.1および図6のNo.3は、20日~30日でほとんどの芝が黄変したが、パーライトを5cmの厚みで底面に敷いた図4のNo.5や図5のNo.9、パーライトを10cmの厚みで底面に敷いた図4のNo.7や図5のNo.11では、芝が黄変するまでの日数は著しく増加した。図5と図6で底面客土の厚みを比較すると、30日前後までの黄変状態の差はほとんどないが、それ以降の芝の黄変は底面客土の厚いほうが緩慢である。これは、試験開始時には30cmの厚みがあるポーラスコンクリート部分への根の進入深さが18cm程度であったが、No.9~12の試験体では試験終

表3 ポーラスコンクリートの使用材料

セメント	高炉セメントC種 比重 2.98 高炉スラグ混合率 70%
粗骨材	青梅産 5号砕石 表乾比重 2.66 単位容積質量 1.57
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE減水剤 比重 1.07

表4 ポーラスコンクリートの配(調)合

骨材最大寸法	空隙量 (vol%)	P/G* (vol%)	W/C (wt%)	混和剤 (Cx%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )		
					水	セメント	5号砕石
20mm	27.5	30	25	0.8	75	300	1570

\*セメントペースト-粗骨材比

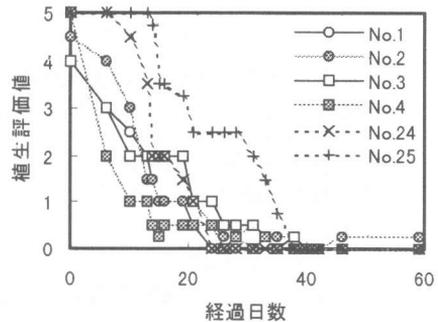


図3 無灌水状態での植生評価結果 (底部客土のない場合)

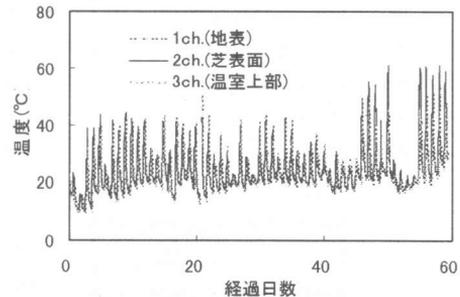


図4 環境温度測定結果

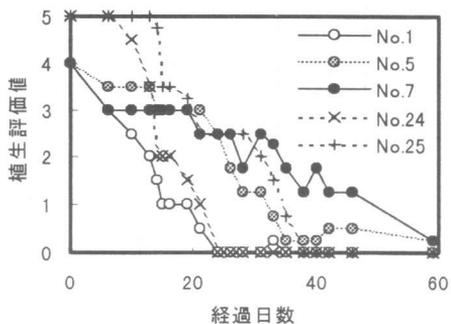


図5 無灌水状態での植生評価結果  
(薄層客土 3cm、ポーラスコンクリート厚 15cm の場合)

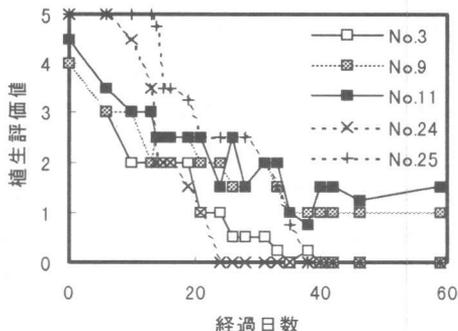


図6 無灌水状態での植生評価結果  
(薄層客土 3cm、ポーラスコンクリート厚 30cm の場合)

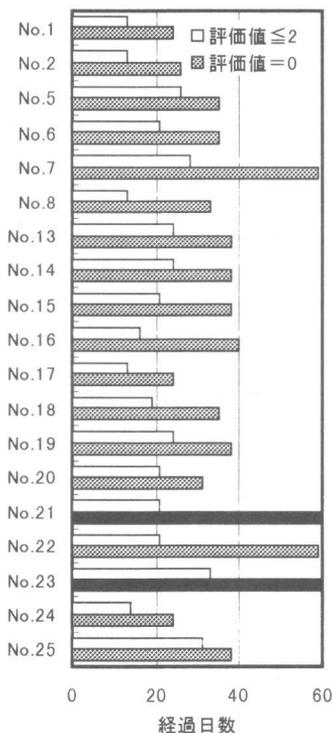


図7 無灌水生育評価の比較

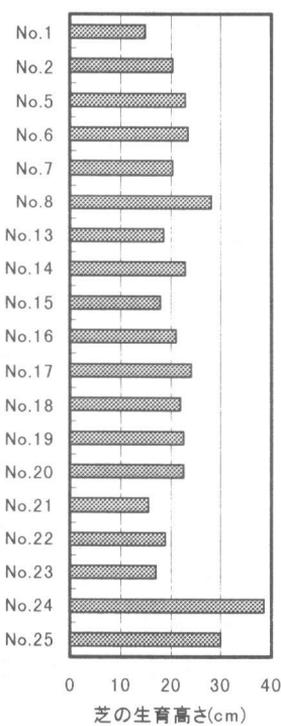


図8 芝生育高さ測定結果

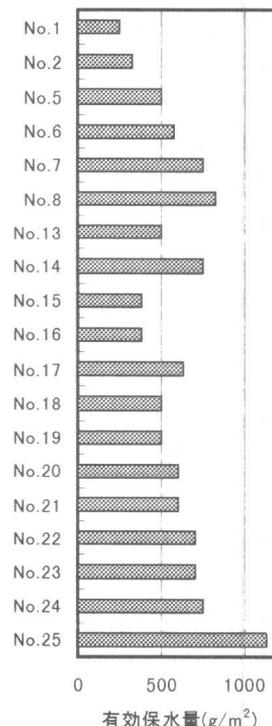


図9 有効保水量測定結果

了時まで、30cm の厚みのポーラスコンクリート層を徐々に根が通過し、植物が底面保水層の水分を採ることが可能となったためと考えられる。

**底面客土の厚みや種類が無灌水植生評価結果に及ぼす影響：**ポーラスコンクリートの厚みが 15cm の試験体において、芝の約半数が黄変した状態を示す植生評価値が 2 以下となる日数、および芝全体が黄変した状態を示す植生評価値が 0 となる日数を図 7 に、灌水停止時の芝の生育高さを図 8 に、緑化面積当たりの有効保水量を図 9 に示す。なお、図 7 の黒塗で示したデータは日数が 60 日以上のもを示す。No. 1、No. 5、No. 7 で底面客土の厚さの影響を比較すると、底面客土層が厚くなるにつれ、植生評価値が 0 となる日数は 24 日、35 日、59 日と著しく増加し、底面客土層により植生を維持できる期間が延びたことがわかる。比較用の厚み 30cm の良質土壌(No.24)や厚み 45cm の良質土壌(No.25)では、無灌水での植生評価値が 0 となる日数は、それぞれ 24 日、38 日であり、底面客土にパーライトを 5cm～10cm 使用し

た緑化コンクリートの耐乾燥性は良質土壌よりも向上することが確認できた。

薄層客土の厚みが 3cm、底面客土の厚みが 5cm である No.5 と No.13~23 を比較すると、パーライトやピートモス、パークに吸水性樹脂を混合した No.21~23 が黄変するまでに最も多くの日数を要している。これらは、比較的有効保水量が多く、かつ芝の生育はある程度抑えられており、保水性と植物の水分要求量の両面で無灌水状態に対する抵抗性が高かったと考えられる。

### 3. 施工例

#### 3.1 施工概要

**施工断面：**金沢市内のゴルフ場のカート道造成工事において図 10 に示す平均勾配 1:1、面積約 80m<sup>2</sup>の法面に緑化コンクリートを施工した[4]。緑化コンクリート下部は現場発泡ウレタンの軽量盛土であり、背面からの水分供給は期待できず、植物にとって厳しい環境である。緑化コンクリートのポーラスコンクリートは厚み 30cm~45cm、薄層客土の厚みを 5cm とし、保水力の向上のために 1.5~2m の間隔でパーライトを使用し

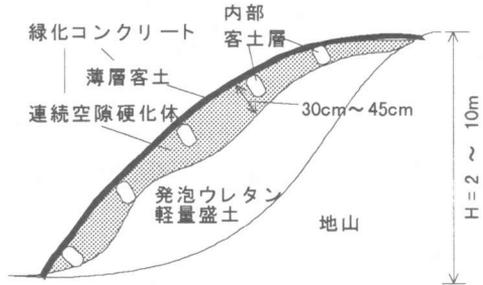


図 10 施工断面

て径 30cm~50cm 程度の内部客土層を設けた。尚、この内部客土層の条件は 2. で述べた No.9~No.10 の条件に相当する。

**施工手順：**表 5 および表 6 に示す材料と配(調)合のポーラスコンクリートを生コン工場で練り混ぜ、4t ダンプにて運搬し、バックホウにて打設、締め固めを行った。養生シートを使用して 1 週間散水養生を行った後、保水材をモルタルポンプにてコンクリート 1m<sup>3</sup>あたり 0.3m<sup>3</sup> 充填した。硬化体に設けておいた穴に内部客土層としてパーライトを詰めた後、ピートモス、パーク堆肥、化成肥料、有機系固化材の混合物を構成材料とする薄層客土に芝、ヨモギ、ホワイトクローバの種子を混合し、吹付けた。施工は 93 年 10 月に実施した。

#### 3.2 植生

**調査方法：**施工後の植物の生育状況を調べる目的で、法面の一部に 1m×1m の方形区を設置し、全植被率と植物群落の被度および群度を測定した。全植被率は植栽面を植物が覆う面積比率を目視にて 5% 単位に評価した。被度は調査区内で各々の植物種がどの程度覆っているかを、群度は調査区内での各々の植物種の分布状態をブラウン・ブロンケの植生調査法[5]により評価した。

**調査結果：**図 11 に施工後 581 日目の植生状況を図 12 に全植被率、被度および群度の調査結果を示す。全植被率は施工後徐々に増加し、373 日目の調査には 100% に達した。施工後 241 日目および 640 日目の前後は月間雨量が 38.0mm~92.0mm、1mm 未満の雨量の日数が 21~28 日と非常に雨が少なかったことや、夏季の高い気温が原因と考えられる植被率の低下が見られたが、それぞれ秋季には回復した。

2. の試験体で、本施工での仕様に相当する No.9~10 の同程度の無灌水期間における植生状況は、芝の半分程度が黄変するものの枯死には至っておらず、植生状況の傾向は一致している。

表 5 ポーラスコンクリートの使用材料

種別	仕様
セメント	高炉セメント C種 比重 2.99 比表面積 3700
混和剤	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 比重 1.07
粗骨材	手取産 5 号砕石 表乾比重 2.64 実績率 59.9

表 6 ポーラスコンクリートの配(調)合

P/G*	W/C	混和剤 使用量	目標 空隙率	単用量(kg/m <sup>3</sup> )		
				水	セメント	粗骨材
30%	25%	0.4% **	30%	75.3	306	1564

\*ペースト - 粗骨材体積比 \*\*対セメント比

被度および群度に注目すると、芝およびホワイトクローバーは施工後初期に旺盛な生育を示した後に衰退し、その後ヨモギの生育が旺盛となった。また、水分や温度の条件の厳しい夏季はホワイトクローバは衰退した。このような植生の変化は一般的な法面植栽での植生の遷移と一致している。なお、ヨモギを中心とした植生状態は、96年未現在も維持されており、背面からの水分供給がない環境において、内部客土層を設けた緑化コンクリート上に生育した植物は正常に生育し、遷移することが確認できた。



図 11 植生状況(581日目)

#### 4. まとめ

内部客土層を設けた緑化コンクリートに生育した植物の耐乾燥性について得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 緑化コンクリートは良質の土壌とほぼ等しい耐乾燥性を有している。
- (2) 緑化コンクリートの内部に客土層を設けることにより、植物の耐乾燥性がさらに向上する。
- (3) パーライトは客土層として有効であり、厚み5cm~10cm 設置することにより、植物の耐乾燥性は良質の土壌を上回る性能が得られる。
- (4) 客土層に吸水性樹脂を混合すると、有効保水量の向上と、乾燥下における芝の生育の抑制により、耐乾燥性が向上する。
- (5) 背面から水分供給のない条件で内部に客土層を設けた緑化コンクリートの施工を行い、植物は遷移しながら、長期間生育が可能である。

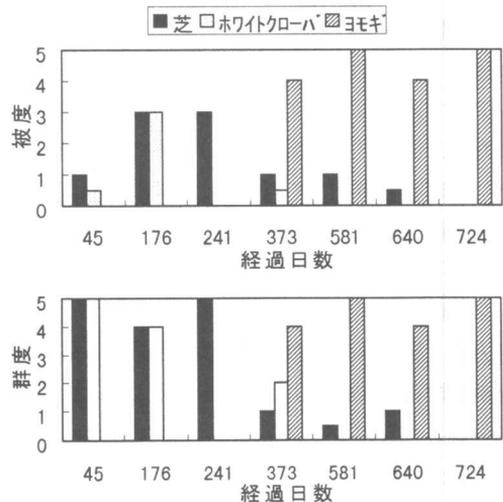
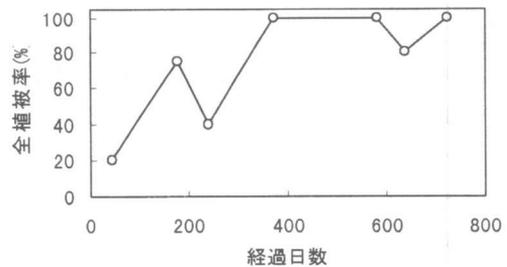


図 12 植生調査の結果

#### 参考文献

- [1] 柳橋邦生他、緑化コンクリートの河川護岸への適用、コンクリート工学協会年次論文報告集、Vol. 18、No. 1、pp. 1017-1022、1996
- [2] 足立憲彦他、法面に適用した緑化コンクリートの長期植生調査、土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集、V-232、pp. 464-465、1996. 8
- [3] 柳橋邦生他、緑化コンクリートの研究(その 9)建築物外部の急斜面への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 735-736、1996. 9
- [4] 柳橋邦生他、緑化コンクリートによる軽量盛土法面の緑化、土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集、V-231、pp. 462-463、1996. 8
- [5] 新田伸三、環境緑地II植栽の理論と技術、鹿島出版会、1981