

論文 軽量ポーラスコンクリートを用いた水耕栽培による屋上緑化に関する研究

黒田 萌^{*1}・三島 直生^{*2}・松田 憲^{*3}・畑中 重光^{*4}

要旨：建築分野におけるポーラスコンクリートの使用方法の一つとしては、建築物の屋上緑化基盤がある。しかし、これらの多くは空隙に土壌や保水材を充填し、表層には客土を敷いているため、土壌が流出・飛散するなどの問題が存在すると考えられる。本研究では土壌や保水材を充填せず、水耕栽培とすることでこれらの問題を解決する屋上緑化工法を採用し、複数の要因を変化させて実際に屋上緑化を試みた。その結果、水耕栽培による屋上緑化の有効性が確認された。また、植物の生育状況の評価方法の検討も行った。

キーワード：ポーラスコンクリート, 屋上緑化, 水耕栽培, 植生

1. はじめに

ポーラスコンクリートは内部に水や空気を自由に通す連続空隙を持つ多孔質なコンクリートである。透水性や吸音性に優れ、水質浄化、植栽基盤などとしての機能を有する環境共生型コンクリートとして、今後さらに土木・建築の両分野で幅広い利用が期待されている。

建築分野におけるポーラスコンクリートの使用方法の一つとして、建築物の屋上緑化基盤がある。ポーラスコンクリートの緑化基盤は、同時に屋根スラブ防水層の押えコンクリートの役割を果たすことも可能である¹⁾。ポーラスコンクリートが緑化基盤として用いられる場合には、**図-1**に示すように、空隙に土壌や保水材を充填し、表層には数 cm の客土を敷くのが一般的である。しかし、屋上緑化の場合には雨や風による土壌などの流出・飛散が問題となるため、このままの構成を用いるのは現実的ではない。このため本研究では、土壌などを用いず水耕栽培²⁾による屋上緑化工法を採用して検討する。

写真-1には、予備試験として行った軽量ポーラスコンクリート製円柱試験体を用いたシバの水耕栽培の状況を示す。予備試験の結果、ポ

ラスコンクリートによる水耕栽培は十分に可能であること、また、土壌を用いない水耕栽培では、植物の苗を用いるよりも種子を直接ポーラスコンクリートに播いたほうが良いことなどが明らかとなった。

以上の結果を踏まえて、本論文では、ポーラ

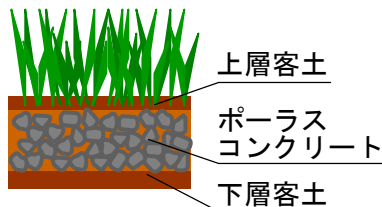


図-1 ポーラスコンクリートを用いた緑化基盤の断面例

写真-1 シバの水耕栽培状況

表-1 要因と水準

要因		水準
ポーラスコンクリート	粒径 (mm)	5-10, 10-20
	空隙率 (%)	20, 30
	厚さ (mm)	50, 100
	垂れ	有り, 無し
水位 αG_{min} (mm)		0 G_{min} , 1 G_{min} , 2 G_{min}
植物の種類		セイヨウシバ ハダイコン クローバ

(注) : 基準となる水準を示す

*1 三重大学大学院工学研究科 大学院生 (正会員)

*2 三重大学工学部建築学科 助手 博士(工学) (正会員)

*3 三交ホーム株式会社

*4 三重大学工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

スコンクリートの空隙率、骨材粒径、水位などの各要因が、水耕栽培による植物の生育状況に及ぼす影響を検討する。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

本実験の要因と水準を表-1 に示す。

空隙の大きさを変化させるために粒径を、また空隙の量を変化させるために空隙率をそれぞれ変化させた。植物の種類は環境適応性が高いセイヨウシバ（トールフェスク・改良種 80%、ペレニアル・改良種 20%。以下、シバと示す。）、播種から収穫までが早く早期の指標となりうるハダイコン、再生力が強く湿潤地にも適しているホワイトクローバ（以下、クローバと示す。）の3種類の種子を用いた。給水条件に関しては、図-2 に示すような方法で水を常に供給し、常に設定した水位 αG_{min} に保たれるように調節した。水位 αG_{min} とは、緑化基盤用供試体の上面から水面までの距離を、最小骨材粒径 G_{min} の倍率 α で表したものである（図-3 参照）。雨天時にもコンテナ側面に開けた穴により排水され、水位が一定に保たれるようになっている。

2.2 供試体の作製

ポーラスコンクリートの使用材料を表-2 に、調合を表-3 に示す。ポーラスコンクリートの骨材には自重軽減のために人工軽量粗骨材を用いた。また、人工軽量骨材は粒径が 5-10mm、10-20mm となるように分級して用いた。ポーラスコンクリートの設計空隙率は、試練りによりあらかじめ目標空隙率と実測空隙率の誤差を確認して目標空隙率が得られるように補正を加えた値とした。

ポーラスコンクリートはペースト先練りとし、フロー値が 190mm であることを確認してから骨材を投入した。圧縮強度測定用の円柱試験体（ ϕ 100mm）は二層に分けて打ち込み、各層 15 回ずつ突き棒で突いて充填し、緑化基盤用供試体 [350×550×50 (100) mm] は一層で打ち込んだ。締固めは表面振動機で行い、骨材が充分締固まった時点で締固め終了とした。緑化基盤用

供試体は、締固め後に表面をコテ仕上げした。

打ち込み後 28 日間は水中養生したが、緑化基盤用供試体は播種後の水中へのアルカリ成分の

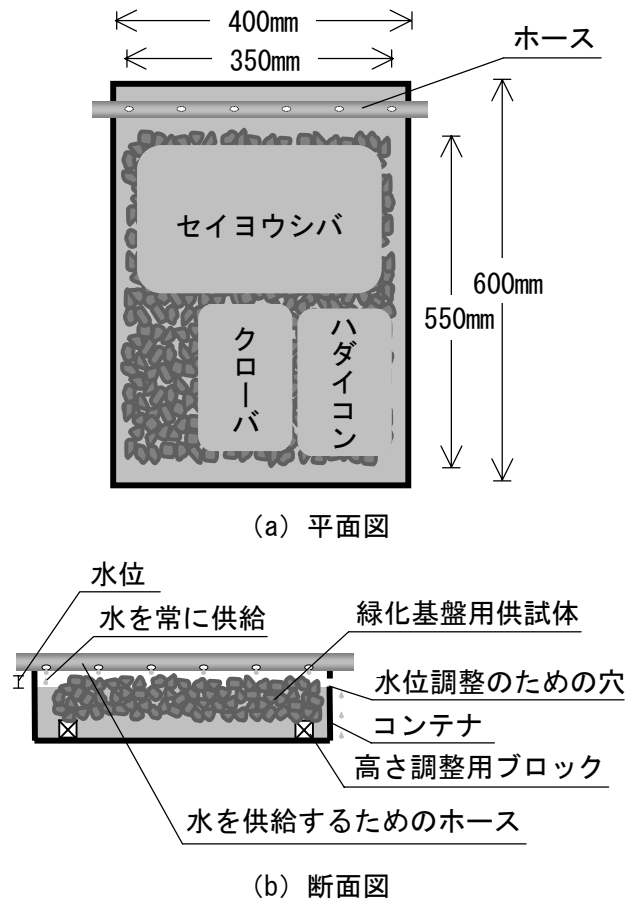


図-2 実験概要図

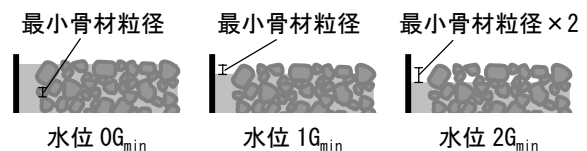


図-3 水位 αG_{min}

表-2 材料特性

セメント	普通ポルトランドセメント 密度：3.17 (g/cm ³) 比表面積：3150 (cm ² /g)
骨材	人工軽量粗骨材（膨張頁岩） 表乾密度：1.39 (g/cm ³) 実積率：61 (%) 吸水率：9.7 (%)

表-3 ポーラスコンクリートの調合

目標空隙率 (%)	設計空隙率 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			SP/C (%)
			W	C	G	
20	15	25	92	373	888	0.32
30	25		48	196	888	

(注) W/C：水セメント比，W：水，C：セメント，G：粗骨材，SP：高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系）

溶出を低減するために材齢約 2 週間で供試体を気中に出して乾燥させた。

2.3 植物の播種

緑化基盤用供試体を表-4 の水準の組合せになるようにコンテナ内に設置し、図-2 に示した位置に各植物を播種した。播種量は、シバは 158 (g/m²)、クローバは 87 (g/m²)、ハダイコンは 35 (g/m²) とした。試験体数は 1 水準につき 1 体とした。播種は 7 月下旬に行った。種が風雨による影響で流出することを防ぐため、播種より 1 週間は気温 20 度、湿度 60% の室内に緑化基盤用供試体を置いて発芽させた後、三重大学工学部建築棟の屋上に移設し、観測を開始した。屋上へ移設後 1 週間は、真夏の直射日光や気温などの急激な環境の変化による悪影響が懸念されたため、緑化基盤用供試体の上を遮光網で覆った。播種より 1 週間後に、顆粒状肥料を緑化基盤用供試体 1 体につき約 50g 与えた。

3. 実験結果

3.1 ポーラスコンクリートの物性

(a) 空隙率

図-4 に作製したポーラスコンクリートの空隙率試験結果を示す。図-4 に示すように、円柱試験体と緑化基盤用供試体では、円柱試験体のほうが空隙率が大きくなる傾向が見られた。これは、円柱試験体、緑化基盤用供試体ともに供試体の比表面積は 0.5 (cm²/cm³) と同一であったため、型枠効果の影響ではなく、振動締めを行った際に緑化基盤用供試体の方が厚さが薄いため、ポーラスコンクリートがより充填されたためだと考えられる。また、緑化基盤用供試体の空隙率は粒径によらず目標空隙率に近い

値のものが得られた。

(b) 圧縮強度-空隙率関係

図-5 に圧縮強度と空隙率の関係を示す。図-5 には、筆者らの研究³⁾によって得ら

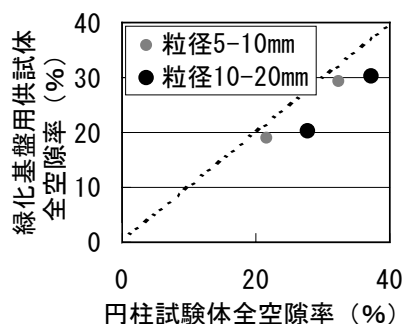


図-4 全空隙率測定結果

れた 6 号碎石を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度-空隙率関係の推定式、および屋上の押えコンクリートの役割を担うために要求される強度¹⁾ (3N/mm²) も併示してある。推定式における結合材強度には実験より得られた結合材強度 (119N/mm²) を用いた。

実測値が推定式より小さい値になったのは、推定式が骨材に碎石を用いたときの値であるのに対し、本実験では軽量骨材を用いたため骨材破壊が生じたからであると考えられる。

(c) 水素イオン指数 (pH)

緑化基盤用供試体に播種した 5 日後に緑化基盤用供試体が入っている水の水素イオン指数 (pH) を測定した結果、平均 8.27 であった。植

表-4 水準の組合せ

供試体名*	粒径 (mm)	空隙率 (%)	水位 α G _{min} (mm)	厚さ (mm)	垂れ		
5-20-0	5-10	20	0G _{min}	50	無し		
5-20-1			1G _{min}				
5-20-2			2G _{min}				
10-20-0	10-20		0G _{min}		50	有り	
10-20-0A			1G _{min}				
10-20-1			2G _{min}				
10-20-2	10-20		30	0G _{min}	100	無し	
5-30-0				5-10			1G _{min}
5-30-1							2G _{min}
5-30-2		10-20			0G _{min}		50
10-30-0				1G _{min}			
10-30-0D				2G _{min}			
10-30-1	10-20	30	0G _{min}	100	無し		
10-30-2			1G _{min}				
			2G _{min}	50			

(注) * : 5-20-0

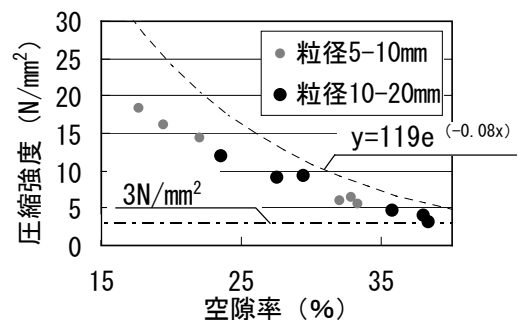
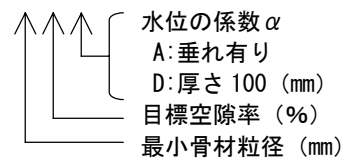


図-5 圧縮強度-空隙率関係

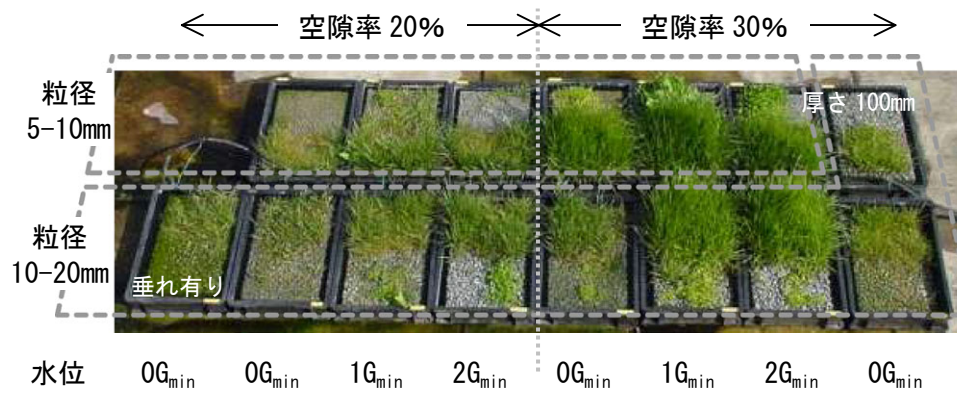


写真-2 実験全体風景 (16週)

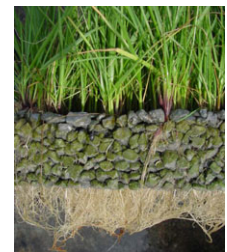


写真-3 根の様子 (シバ8週)

物栽培に適した水の pH は 5-8、高くても 9.5 である⁴⁾。播種後は水を常に供給するため時間経過とともに pH の値は下がっていくと考えられるので、ポーラスコンクリートのアルカリ性が植物の生育に与える影響は少ないと考えられる。

3.2 植物の生育

実験の全体風景を写真-2 に示す。シバおよびクローバの生育は良好であり、ポーラスコンクリートを緑化基盤とした屋上での水耕栽培は可能であることが確認された。また、厚さが 50mm の緑化基盤用供試体は、播種後約 1 ヶ月でシバの根が供試体を貫通したことも確認できた。写真-3 は、8 週の時点の状況を示す。

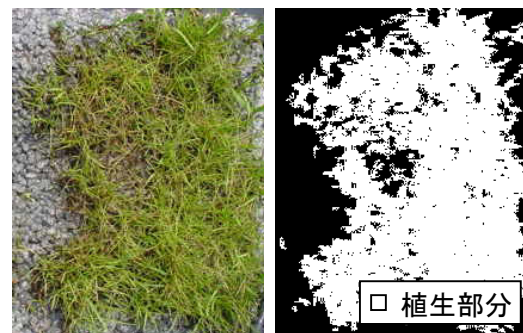
シバとハダイコンは播種後すぐ成長が見られたが、ハダイコンは鳥などに食われて計測不能となったため、以下の考察ではシバとクローバについて記述する。

3.3 シバおよびクローバの評価

評価項目は、緑被率⁵⁾ および目視観察結果とした。また、シバは草丈も評価項目とした。

緑被率とは画像解析ソフトで 2 値化処理を行い、播種した面積に対する葉の覆った面積の割合を示す (クローバは、供試体半分の面積に対する割合)。2 値化画像の例を写真-4 に示す。評価の頻度は 1 回/週とし、播種直後から 20 週まで行った。

目視およびシバの草丈は、緑被率が安定してきた 12 週目以降に 1 回/週で測定した。目視による評価は測定時に最も生育がよいと思われるものを 5、最も生育が悪いと思われるものを 1 とし



(a) 2 値化前

(b) 2 値化後

写真-4 2 値化例 (シバ8週)

て 5 段階で評価した。ただし、測定期間中 (7 月 -11 月) は黄変および枯死などは見られなかった。草丈は、シバの高さが 1 番高いものを 5mm 単位で計測した。なお、以下の考察で特に記述しない限り、各要因の水準は表-1 に示した基準となる水準とする。

屋上緑化の目的は都市環境の改善やアメニティ向上などであり、本論文ではアメニティ向上のための植生状況の見栄えを目視評価で検証することを試みた。ただし、目視評価は個人差があり再現性に問題があるため、客観的な評価である緑被率および草丈を採用し、目視評価との相関から指標値の妥当性の検証を行った。播種より 20 週目の目視評価と緑被率および草丈を比較した結果を図-6, 7 に示す。両指標値ともに目視との相関性はよく、比較的人間の感覚に近い評価が可能となっていると言える。

(a) 空隙率の影響

空隙率による影響を図-8, 9 に示す。どちらの植物も空隙率 30% のほうが空隙率 20% のもの比べて生育が良好であった。これは、空隙率が

大きいほど空隙の量が多く、空隙の量の多さは根が成長できる領域の多さであるということに起因していると考えられる。

クローバでは4週目と8週目の間で緑被率の低下が見られるが、これはこの時期に台風が接近したことによる。シバにはこの影響は見られなかった。

(b) 水位の影響

水位の影響を図-10, 11に示す。どちらの植物も水位が1G_{min}, 2G_{min}のほうが水位0G_{min}のものに比べて生育が良好であった。これは、水位0G_{min}では植物を播種したときに種子が水面に浮き、流出してしまったためと考えられる。誌面の都合上、基準となる水準の結果のみを示しているが、水位1G_{min}および2G_{min}の差については、バラツキが大きく明確な違いは見られなかった。

(c) 粒径の影響

粒径の影響を図-12に示す。粒径による明確な傾向は見られなかった。

(d) 供試体厚さの影響

供試体厚さの影響を図-13に示す。どちらの植物も厚さによる影響は少ない。また、これらの水準は他の水準と比べ緑被率が低くなったが、これは、水位が0G_{min}であるためである。

(e) 垂れの有無の影響

垂れの有無の影響を図-14, 15に示す。どちらの植物も垂れの無いほうが垂れのあるものに比べて生育が良好であった。これは、垂れのある供試体では植物の根が成長できる領域の大きさ

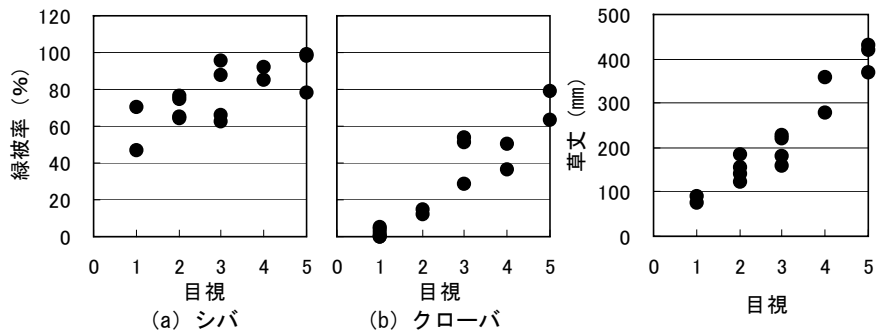


図-6 緑被率と目視の関係

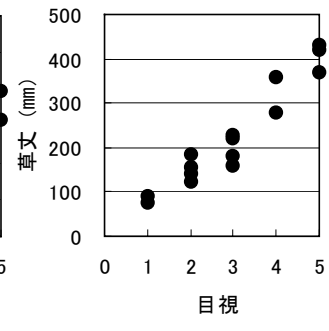


図-7 草丈と目視の関係

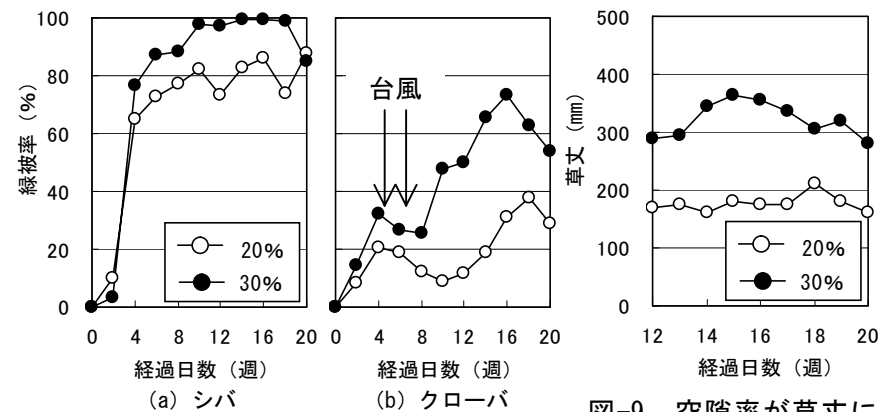


図-8 空隙率が緑被率に及ぼす影響

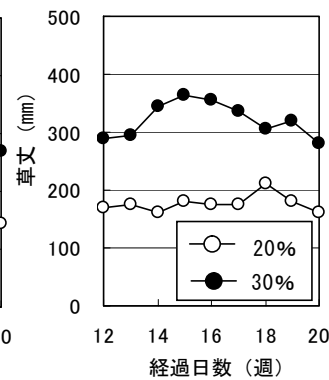


図-9 空隙率が草丈に及ぼす影響

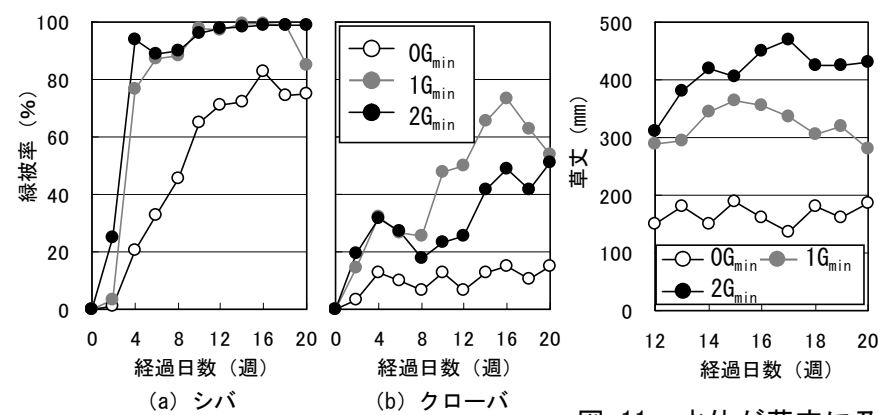


図-10 水位が緑被率に及ぼす影響

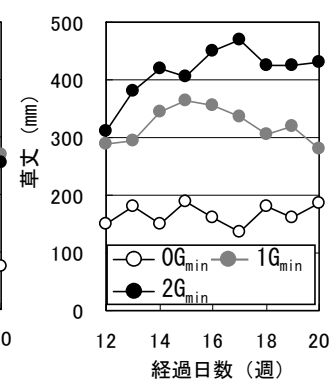


図-11 水位が草丈に及ぼす影響

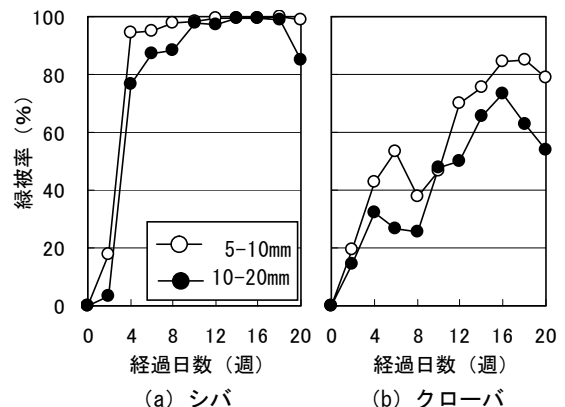


図-12 粒径が緑被率に及ぼす影響

が小さくなるということに起因していると考えられる。一方、草丈においては垂れの有無に関わらず同様の傾向であった。これらは、垂れの有無の違いのみに見られた傾向であった。この理由としては、垂れのある供試体でも一部で根が貫通しており（写真-5）、垂れが無いものと同じように成長できたためと考えられる。

4. まとめおよび今後の課題

本実験の結果から、以下の知見が得られた。

- 1) ポーラスコンクリートを緑化基盤とした水耕栽培による屋上緑化は可能である。
- 2) 本研究で用いたシステムでのシバおよびクローバの生育では、ポーラスコンクリートの空隙率が最も大きな影響を及ぼし、空隙率が大きいほど良好である。
- 3) 植物の生育は、緑被率および草丈を用いることで定量的な評価が可能である。

今後、ポーラスコンクリートを用いた水耕栽培による屋上緑化について、冬季も含めた長期的な観測を継続するとともに、各種環境改善効果の評価などさらに詳細な検討を行いたい。

謝辞

本研究費の一部は、平成16年度財団法人トステム建材産業振興財団研究助成金（代表：畑中重光）によった。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 石川嘉崇，堀口剛，梅干野晁：植栽型ポーラスコンクリートの屋上緑化への応用に関する研究，ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，2002.5
- 2) 石黒覚，森田脩：水面緑化基盤への軽量ポーラスコンクリートの適用，ポーラスコンクリートの設計・施工方法と最近の適用例に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp.117-122，2003.5
- 3) 畑中重光，三島直生，湯浅幸久：ポーラスコンクリートの圧縮強度-空隙率関係に及ぼす結合材強度および粗骨材粒径の影響に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，

No.594, pp17-23, 2005.8

- 4) 輿水肇：建築空間の緑化手法，彰国社，1985
- 5) 山田敏昭，米澤敏男，柳橋邦生，中西康博：緑化コンクリートに生育した植物の冠水抵抗性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, 1997

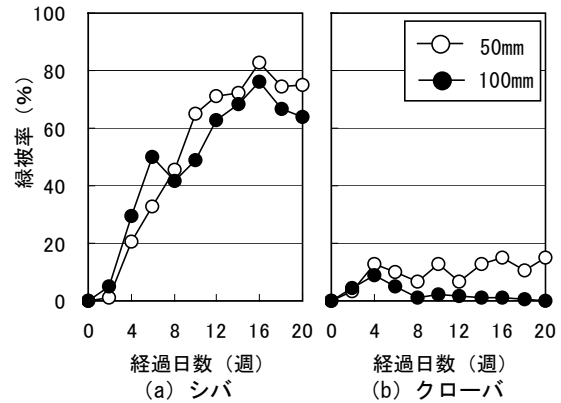


図-13 供試体厚さが緑被率に及ぼす影響（水位 $0G_{min}$ ）

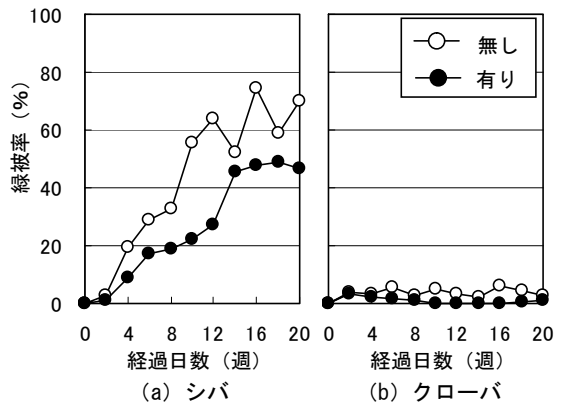


図-14 垂れの有無が緑被率に及ぼす影響（空隙率 20%，水位 $0G_{min}$ ）

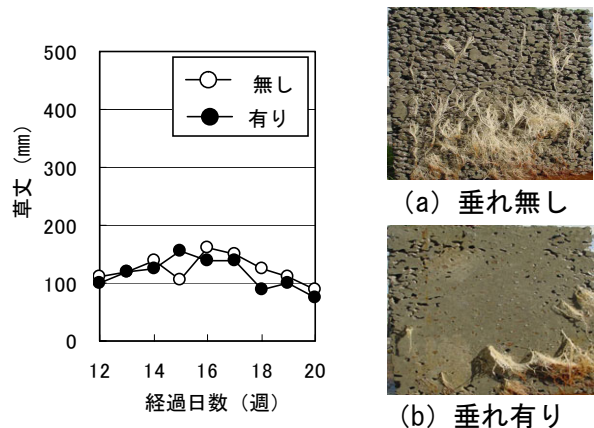


図-15 垂れの有無が草丈に及ぼす影響（空隙率 20%，水位 $0G_{min}$ ）

写真-5 垂れの有無による根の様子の違い（8週）