

報告 ポーラスコンクリートへの植栽技術

吉森 和人*¹・上野 雅之*²・岡本 享久*³・下山 善秀*⁴

要旨：ポーラスコンクリート硬化体の空隙性状と雑草類を植栽した時の生育状況との関係を定量的に評価することを目的に、ポーラスコンクリートに使用した骨材の粒子径、ポーラスコンクリートの基盤厚さ、空隙率および土壌材の充填量のそれぞれの因子と植栽植物の生育量の関係について調べた。その結果、①使用骨材の粒子径が大きく、②基盤厚さが薄く、③空隙率が高いほど植物の生育上好ましく、さらに④ポーラスコンクリートの連続空隙量の55%程度の土壌材を充填することにより、ポーラスコンクリートへの植栽が十分に行えることがわかった。

キーワード：ポーラスコンクリート、植栽、骨材粒径、空隙率、強度、土壌材、生育

1. はじめに

近年、環境保全や景観向上を前提とした都市・地域開発が進められる中、地球環境負荷の低減に寄与すると共に、生態系との調和あるいは共存を図ることができるようなコンクリート（エココンクリート）が求められている。このようなコンクリートの一つにポーラスコンクリートが取上げられ、その空隙部に土壌材を充填した緑化あるいは植生コンクリート[1][2]に関する研究開発が盛んに行われている。

これまでのポーラスコンクリートを用いた植栽に関する研究は、単に様々な植物を植栽し、その適用性についての報告事例[3]が多く、ポーラスコンクリートの空隙構造と植物の生育の関係について論じた報告[4]は少ない。

本研究は、ポーラスコンクリート硬化体の空隙性状が雑草類を植栽した時の生育に及ぼす影響を定量的に評価することを目的に、使用骨材の粒子径、ポーラスコンクリートの基盤厚さ、空隙率および土壌材の充填量のそれぞれの因子と植栽植物の生育量の関係について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 ポーラスコンクリートの製造

表-1 使用材料

(1) 使用材料

表-1 に使用材料を示す。混和材にモルタルに粘性を付与し高強度を発現するカルシウムシリケートが主成分のセメント鋳物系の特殊混和材を、粗骨材に6、5および4号碎石を用いた。

| 材料名 | 記号 | 種類 | 成分・物性など |
|------|----|---------------|--------------------------------------|
| セメント | C | 早強種ポルトランドセメント | 比重 3.12、フルン値 4,200cm ² /g |
| 混和材 | PM | セメント鋳物系微粉末 | 比重 2.78、フルン値 7,800cm ² /g |
| 細骨材 | S | 7号珪砂 | 秩父産、絶乾比重 2.62、粒径 0.3mm以下 |
| 粗骨材 | G | 6号碎石 | 青梅産、表乾比重 2.65、実績率 58.8% |
| | | 5号碎石 | 青梅産、表乾比重 2.65、実績率 59.8% |
| | | 4号碎石 | 甲州産、表乾比重 2.64、実績率 57.2% |

* 1 日本セメント(株)中央研究所 副主任研究員、工修(正会員)

* 2 日本セメント(株)中央研究所

* 3 日本セメント(株)中央研究所 主席研究員、工博(正会員)

* 4 日本セメント(株)開発第2部 開発課長、工博(正会員)

(2) 配合条件

ポーラスコンクリート製造における配合条件として、水結合材比(W/P)を22%に固定し、また硬化体の空隙率(なお、本研究における全空隙率のうち、約90%が連続空隙率である)の違いによる植物の生育への影響を調べるために5号砕石を用いた場合について、モルタル粗骨材容積比(M/G)を30~50vol%に変化させ空隙率を変えた。コンクリートの配合条件および単位量を表-2に示す。

表-2 コンクリートの配合条件と単位量

| 使用骨材 | W/P (mass%) | M/G (vol%) | S/P (mass%) | 配合空隙率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | |
|------|----------------|---------------|----------------|--------------|--------------------------|----|----|-------------|-----------|
| | | | | | C | PM | W | S (7号砕石) | G (砕石) |
| 6号 | 22 | 50 | 100 | 17 | 223 | 74 | 65 | 297 | 1466 |
| 5号 | 22 | 45 | 100 | 25 | 187 | 62 | 55 | 250 | 1371 |
| | | 30 | | 28 | 134 | 45 | 39 | 178 | 1468 |
| | | 40 | | 24 | 175 | 58 | 51 | 233 | 1439 |
| | | 50 | | 20 | 215 | 72 | 63 | 286 | 1413 |
| 4号 | 22 | 40 | 100 | 22 | 166 | 55 | 49 | 221 | 1358 |

注) P:C+PM、W/P:水結合材質量比、M/G:モルタル粗骨材容積比、S/P:細骨材結合材質量比

(3) 製造方法および供試体寸法

ポーラスコンクリートの練混ぜは、パン型ミキサを使用し、水以外の所定材料をミキサ内に一括投入し空練りを行い、その後所定量の水を投入し練り混ぜ、粗骨材の回りにモルタルをコーティングした後、型枠内に打込み振動を加えて成形した。成形後の供試体の養生は、蒸気養生(前置き3時間、65℃4時間保持後、以降自然放冷)を行った。なお、供試体の形状および寸法は、硬化体の物性および空隙性状を測定する場合はφ15×30cmの円柱とし、植栽用の場合は一辺が30cmで厚さを15~35cmに変えた直方体とした。

(4) 物性試験方法

空隙径：円柱供試体を3等分に切断(輪切り)し、それぞれの切断面(上下4面)を市販の画像解析装置により空隙に内接する円の直径と個数を測定した。

空隙率：日本コンクリート工学協会 エココンクリート研究委員会「ポーラスコンクリートの空隙率測定方法(案)」の容積法に従い連続空隙率を測定した[5]。

透水係数：日本コンクリート工学協会 エココンクリート研究委員会「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)」に従い水頭差15cmとして測定した[5]。

圧縮強度：JIS A 1108「コンクリート圧縮強度試験方法」に準拠し、両面キャッピングして測定した。

2. 2 ポーラスコンクリートへの植栽

(1) 土壌材のポーラスコンクリートへの充填

ポーラスコンクリートへの植栽にあたり空隙部に充填する土壌材として、表-3に示す材料を水でスラリー状態とし、硬化後のポーラスコンクリートの空隙内に所定量を流し込み注入した。なお土壌材の充填率は、ポーラスコンクリート底部の空隙から土壌材が完全に流亡しなくなった時の質量と充填前の質量の差から求めた。またポーラスコンクリート空隙内部における土壌材の被覆厚さは、ポーラスコンクリートを割裂して実測した。

(2) 植栽植物および植栽方法

植栽実験に用いた植物は、種子によるバラツキが小さく、発芽も安定で良好であり、また温室内で年間を通し栽培できるマメ科のアルファルファを用いた。アルファルファの播種は充填土壌材を注入後に行い、その上に軽量人工培養土(ピートモス混合物)を約0.5cmの厚さで覆土した。さらに播種後のポーラスコンクリートブロックの底部には、軽量人工培養土(ピートモス混合物)を

表-3 土壌材の主成分と機能

| | 使用材料 | 目的または機能 |
|---|--------|---------------|
| 基 | 浄水場発生土 | 緩効性養分・保肥力大 |
| | パーライト | 透水性・通気性大 |
| 材 | ゼオライト | アンモニア態窒素の吸着能大 |

敷いた。なお、灌水は1日1回10分間行った。

(3) 生育調査方法

アルファルファの生育調査は播種約2ヵ月後に行い、草丈、葉の大きさ(図-1参照)、1株あたりの葉の数および被度を測定した。なお被度とは、植物が植栽面(ポーラスコンクリート表面)をどの位の面積で覆っているか示す割合であり4段階表示で示した(被度4:75%以上、被度3:75~50%、被度2:50~25%、被度1:25%未満)。

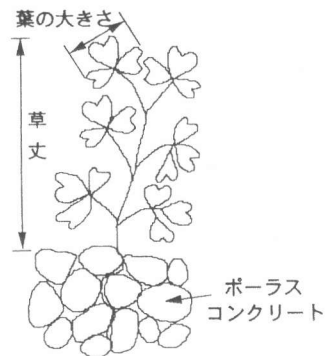


図-1 アルファルファの植生模式図

3. 実験結果および考察

3.1 ポーラスコンクリートの物性試験結果

(1) 空隙性状

表-2の配合条件で作製したポーラスコンクリート切断面の画像処理による空隙性状を表-4に、また6号碎石を用いたポーラスコンクリートの切断面の空隙の

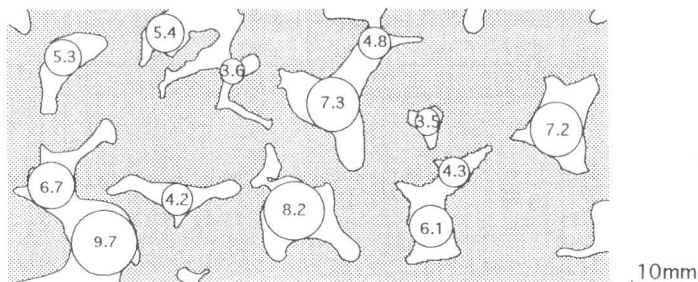


図-2 ポーラスコンクリートの空隙の模式図

模式図を図-2に示す。骨材寸法が小さいほど単位面積あたりの空隙個数は多く、

逆に個々の空隙直径は小さくなることわかる。また骨材寸法が同一(5号碎石)の場合、M/Gが大きくなるほど個々の空隙直径は小さくなる傾向にある。これはM/Gが大きいほど骨材の回りのモルタル層が厚くなり、空間を占める割合が大きくなるためである。

これらのことからポーラスコンクリートに植栽する場合、根が太くなると予想される植物には、骨材寸法の大きな骨材を選定し、より大きな空隙径としたコンクリートが植物の生育には有利であると考えられた。

これらのことからポーラスコンクリートに植栽する場合、根が太くなると予想される植物には、骨材寸法の大きな骨材を選定し、より大きな空隙径としたコンクリートが植物の生育には有利であると考えられた。

これらのことからポーラスコンクリートに植栽する場合、根が太くなると予想される植物には、骨材寸法の大きな骨材を選定し、より大きな空隙径としたコンクリートが植物の生育には有利であると考えられた。

(2) 物理特性

ポーラスコンクリートの物性として、空隙率、透水係数および圧縮強度試験結果を表-4に、またそれぞれの物性間の相関関係を図-3に示す。図-3に示すように空隙率と透水係数の関係には正の相関が、また空隙率と圧縮強度の関係には負の相関があることがわかる。これらの関係について筆者等は、ポーラスコンクリートの物性値の設定が粗骨材寸法や配合条件によりコントロール

表-4 ポーラスコンクリートの空隙性状と物性

| 使用骨材 | M/G (vo1%) | 空隙性状 | | | | 物性 | | |
|------|------------|----------------------------|-----------|-----------|--|---------|-------------|---------------------------|
| | | 個数 (個/100cm ²) | 平均直径 (cm) | 最大直径 (cm) | 空隙面積* (cm ² /100cm ²) | 空隙率 (%) | 透水係数 (cm/s) | 圧縮強度 (N/mm ²) |
| 6号 | 50 | 108 | 0.56 | 0.66 | 26.6 | 18.0 | 1.2 | 23.2 |
| 5号 | 45 | 76 | 0.72 | 0.91 | 30.9 | 24.6 | 2.3 | 18.4 |
| | 30 | 59 | 0.78 | 0.93 | 28.2 | 27.1 | 3.5 | 10.8 |
| | 40 | 55 | 0.77 | 0.94 | 25.6 | 23.6 | 2.5 | 14.7 |
| | 50 | 71 | 0.60 | 0.69 | 20.1 | 20.3 | 1.5 | 20.0 |
| 4号 | 40 | 24 | 1.82 | 2.88 | 62.4 | 28.1 | 4.8 | 8.8 |

注) M/G:モルタル粗骨材容積比、*; (個数)×(平均直径)²×π/4

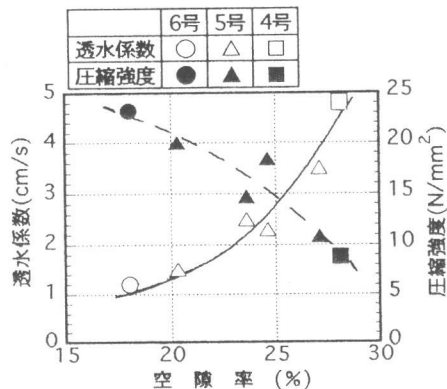


図-3 ポーラスコンクリートの物性間の相関関係

図-3に示すように空隙率と透水係数の関係には正の相関が、また空隙率と圧縮強度の関係には負の相関があることがわかる。これらの関係について筆者等は、ポーラスコンクリートの物性値の設定が粗骨材寸法や配合条件によりコントロール

できることを報告しており[6]、利用者ニーズに合わせたポーラスコンクリートの製造が可能である。

3. 2 植栽試験結果

(1) 生育結果および土壌材の充填率と被覆厚さ

播種2ヵ月経過後のアルファルファの植生状況について、葉の大きさ、草丈および1株あたりの葉数の測定結果を表-5に示す。また、表-5にはポーラスコンクリートへの土壌材充填率および被覆厚さも示した。同一骨材寸法の場合、土壌材の充填率が高いほど、被覆厚さも大きくなることわかる(D~F区)。

表-5 アルファルファの生育調査結果

| 区記号 | 使用骨材 | 空隙率 (%) | 基盤厚さ (cm) | 土壌材充填率 (%) | 土壌材被覆厚さ (mm) | 植生状況 | | | | | | | |
|-----|---------------|---------|-----------|------------|--------------|------------|----------|---------|----------|----------|----------|-----|---|
| | | | | | | 葉の大きさ (cm) | | 草丈 (cm) | | 葉数 (枚/株) | | 被度 | |
| | | | | | | 平均 | σ | 平均 | σ | 平均 | σ | | |
| A | 6号 | 18.0 | 35 | 44.1 | 0.7 | 0.82 | 0.11 | 2.35 | 0.50 | 4.0 | 0.9 | 3 | |
| B | 5号 | 24.6 | 35 | 55.4 | 1.7 | 1.49 | 0.70 | 5.11 | 2.04 | 5.5 | 1.7 | 3 | |
| C | | | 25 | 55.4 | 1.7 | 1.53 | 0.52 | 5.27 | 1.43 | 6.4 | 1.2 | 3 | |
| D | | | 15 | 55.4 | 1.7 | 3.01 | 1.61 | 8.87 | 3.96 | 11.4 | 3.8 | 4 | |
| E | | | | 64.3 | 1.9 | 2.85 | 2.42 | 8.08 | 2.24 | 10.5 | 3.7 | 4 | |
| F | | | | 70.6 | 2.0 | 2.53 | 0.38 | 9.90 | 1.39 | 10.6 | 2.8 | 4 | |
| G | | | 27.1 | 35 | 59.8 | 1.8 | 1.51 | 0.43 | 5.06 | 1.02 | 6.9 | 1.4 | 4 |
| H | | | 23.6 | | 60.7 | 1.9 | 1.13 | 0.31 | 4.22 | 1.39 | 5.3 | 1.5 | 4 |
| I | 20.3 | 59.2 | 1.7 | | 0.86 | 0.19 | 3.41 | 0.62 | 5.2 | 0.8 | 4 | | |
| J | 4号 | 28.1 | 35 | 66.3 | 3.6 | 2.18 | 0.63 | 8.08 | 2.00 | 6.6 | 2.8 | 4 | |
| K | 対 照 区(軽量人工土壌) | | | | | 2.60 | 0.59 | 10.43 | 4.30 | 9.9 | 4.0 | 4 | |

(2) 骨材寸法の影響(A区、B区、J区)

骨材寸法の異なるポーラスコンクリートを用いてアルファルファを植栽した時の、葉の大きさ、草丈および1株あたりの葉数の調査結果をそれぞれ図-4、図-5および図-6に示す。

これらの図より、骨材寸法の大きいJ区(4号碎石)の生育が最も良好であり、次いでB区(5号碎石)が良好であり、A区(6号碎石)の生育が最も悪かった。葉の大きさおよび草丈は、A区に比べB区で約2倍、J区では約3倍であった。このような骨材寸法の違いによる植物の生育量の相違から、骨材寸法が小さいほどポーラスコンクリートの空隙の平均直径(A区:0.56cm、B区:0.72cmおよびJ区:1.82cm)が小さくなり、根の伸長を大きく抑制していると考えられた。

表-4に示した画像処理による空隙面積とアルファルファの葉の大きさおよび草丈の関係を図-7(基盤厚さ35cm)に示す。図-7から、空隙面積と葉の大きさおよび草丈との関係には、比較的高い相関があることがわかり、ポーラスコンクリートへの植栽には骨材寸法が大きいほど適していると言える。しかしながら、骨材寸法が大きくなるほど圧縮強度は小さくなる(表-4参照)ことから、強度と植物の生長に関係する空隙率の両方から使用場所に適合した骨材種類を選定することが重要である。す

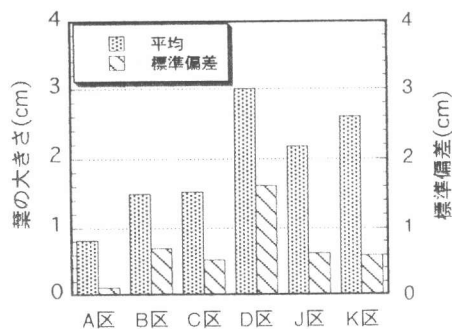


図-4 試験区と葉の大きさの関係

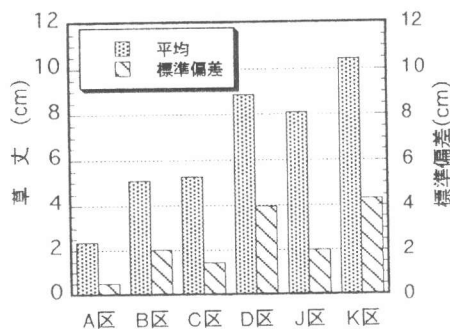


図-5 試験区と草丈の関係

なわち、コンクリートの緑化を重視する場合には4号砕石を、法面や護岸等のある程度強度を要求されるような場合には5号砕石を使用する必要がある。また6号砕石を使用する場合には、浅根性で根が細くかつ張り付き力のある植物種を選定する必要がある。

(3) ポーラスコンクリートの基盤厚さの影響(B区、C区、D区)

基盤厚さの異なる5号砕石のポーラスコンクリートを用いてアルファルファを植栽した時の、葉の大きさ、草丈および1株あたりの葉数の調査結果についてもそれぞれ図-4、図-5および図-6に示す。これらの図から、ポーラスコンクリートの基盤厚さ(B区:35cm、C区:25cmおよびD区:15cm)が薄いほどアルファルファの生育が良好であることがわかる。B区およびC区はD区と比べ50~60%の生育量しかなく、ポーラスコンクリートの基盤の厚さは植物の生育に大きく影響を及ぼすと言える。このことは、被度の結果(表-5参照)からも言えることであり、基盤厚さが薄いほど植物根がポーラスコンクリートの空隙部を貫通しやすく、貫通後は根の伸長の自由度が増し、飛躍的に生育量は増大するものと考えられる。D区においては、植物根の一部がポーラスコンクリートを貫通していたために、貫通していないものに比べ生育量の差が大きく、バラツキ(表-5参照)が大きくなったものと考えられる。

3.2の(2)の結果も考慮すると、本研究範囲の条件では植物の植生に及ぼす影響は、空隙量よりも基盤厚さが大きいと言える。したがって、ポーラスコンクリートの基盤厚さを大きくする必要がある場合には、3.2の

(2)に述べたように十分な空隙を確保できるようにコンクリートの配合設計を行う必要がある。

(4) ポーラスコンクリートの空隙率の影響(G区、H区、I区)

5号砕石を使用したポーラスコンクリート(基盤厚さ35cm)の空隙率とアルファルファの葉の大きさ、草丈および1株あたりの葉数の関係を図-8に示す。図-8から、ポーラスコンクリートの空隙率(G区:27.1%、H区:23.6%およびI区:20.3%)が大きいほどアルファルファの生育が良好であることがわかる。これは、ポーラスコンクリート内の空隙が多いほど植物根の自由度が増し、根の伸長が十分に行えることで、地上部の生育も良好となるためである。

3.1の(2)で述べたように、ポーラスコンクリートの空隙率と圧縮強度は反比例の関係にあり、植生ポーラスコンクリートを適用する場合、どの物性値を重要視するかを考慮してコンクリート構造物としての設計を行う必要がある。

(5) 土壌材充填率の影響(D区、E区、F区)

5号砕石を使用したポーラスコンクリート(基盤厚さ15cm)への土壌材充填率とアルファルファ

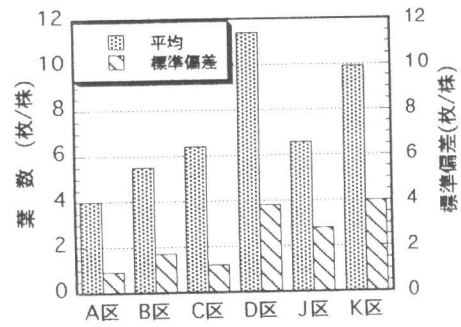


図-6 1株あたりの葉数

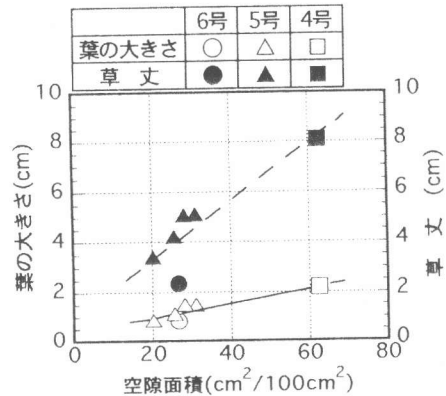


図-7 空隙面積と植生の関係

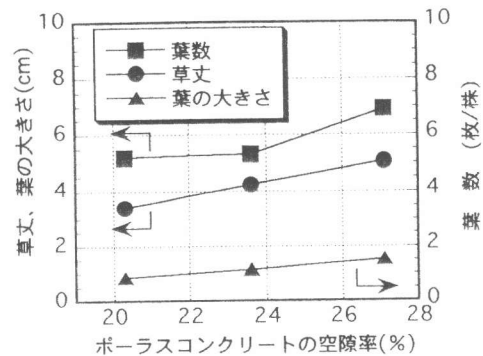


図-8 植生に及ぼす空隙率の影響

の葉の大きさ、草丈および1株あたりの葉数の関係を図-9に示す。図-9から、ポーラスコンクリートへの土壌材の充填率(D区:55.4%、E区:64.3%およびF区:70.6%)の違いによる生育の差は、ほとんどないことがわかった。本研究範囲の条件下では、ポーラスコンクリートの空隙量の55%程度の土壌材を充填することで、十分な植栽が行えると判断された。

また、土壌材の充填率が小さいほど生育量のバラツキは大きい傾向であったが、特に問題となることはないと判断された。

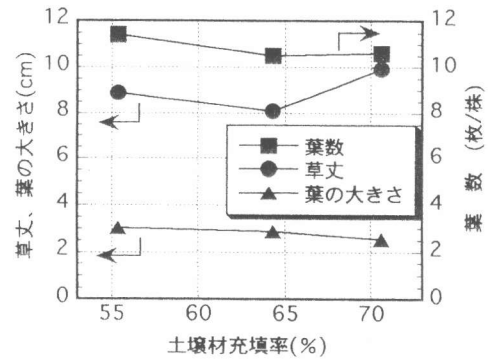


図-9 土壌材充填率の影響

4. まとめ

本研究は、ポーラスコンクリート硬化体の空隙性状と雑草類を植栽した時の生育状況との関係を定量的に評価することを目的に、使用骨材の粒子径、ポーラスコンクリートの基盤厚さ、空隙率および土壌材の充填量のそれぞれの因子と植栽植物の生育量の関係について調べた。本研究で得られた結論を要約すると以下のようになる。

- (1) ポーラスコンクリートに植栽する際の使用骨材の粒子径が大きい骨材ほど、空隙内への植物根の伸長が促進され、それに従い地上部の植物の生育量が增大することがわかった。すなわち、コンクリートの緑化を重視する場合は4号程度の骨材を、ポーラスコンクリートの強度を確保する必要がある場合は5号程度の骨材を使用することにより、所要の目的が達成される。
- (2) ポーラスコンクリートの基盤厚さが薄ければ植物根がポーラスコンクリートの空隙部を貫通しやすく、貫通後は根の伸長の自由度が増し、その後飛躍的に生育量は増大することがわかった。すなわち、基盤厚さとして15cm程度であれば植物の生育は十分であった。一方、空隙量が確保できるならばそれ以上の基盤厚さとすることができる。
- (3) ポーラスコンクリートに植栽する場合には、ポーラスコンクリートの空隙量の55%程度の土壌材を充填率することにより、植物は十分に生育できると判断された。

今後、さらに植物根を含めた生育調査を進めると共に、他の植物種についても植栽実験を実施していく予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、日本セメント 開発第2部 谷田貝氏に多大な御助言を戴きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 柳橋邦夫ほか：緑化コンクリートに関する研究および施工、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.871-876、1994.1
- [2] 玉井元治ほか：連続空隙を有するポーラスコンクリートを用いた緑化に関する研究、コンクリート構造物の緑化に関するシンポジウム論文報告集、pp.37-42、1993.9
- [3] 吉森和人ほか：連続空隙を有する緑化コンクリートの配合と空隙に関する研究、自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集、pp.39-46、1995.11
- [4] 松川徹ほか：連続空隙を有する緑化コンクリートの配合と空隙に関する研究、自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム論文報告集、pp.25-30、1995.11
- [5] (社)日本コンクリート工学協会 エココンクリート研究委員会編：エココンクリート研究委員会報告書、pp.53-58、1995.11
- [6] 吉森和人ほか：ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究、第49回セメント技術大会講演集、pp.768-773、1995