

論文 ごみ溶融スラグを用いたポーラスコンクリートの緑化と空隙性状に関する研究

大友 鉄平^{*1}・大塚 浩司^{*2}・北辻 政文^{*3}・武田 三弘^{*4}

要旨：本研究は、ごみ溶融スラグを粗骨材として作製したポーラスコンクリートの緑化実験の結果と、ポーラスコンクリートの空隙を定量化した結果との関係から考察し、ごみ溶融スラグの有効利用について検討をおこなったものである。本研究の範囲内では、ごみ溶融スラグをポーラスコンクリートに用いても緑化が可能であり、普通ポーラスコンクリートと同等の生長量が得られた。また、空隙性状は、普通ポーラスコンクリートと同傾向の空隙分布および空隙面積であることが確認できた。

キーワード：ごみ溶融スラグ、ポーラスコンクリート、緑化、空隙性状

1. はじめに

近年ポーラスコンクリートは、環境との調和が可能である材料として注目され、積極的に利用されている。ポーラスコンクリートの利用は、環境負荷低減型と生物共生型の二つに大別され利用されているが、いずれもポーラスコンクリートの連続空隙を考慮し、用途によって様々な箇所に使用されているのが現状である。

生物共生型として利用されている例として、ポーラスコンクリートを植生基盤とした緑化があげられるが、緑化の研究は主として、使用した材料、ポーラスコンクリートの配合およびポーラスコンクリートの設置する環境を変化させた際の緑化の適応性を問う研究である。最近は、廃棄物やリサイクル材を利用したコンクリートおよびポーラスコンクリートの研究^{1),2),3),4),5)}が多くおこなわれているが、その中でもごみ溶融スラグを使用したポーラスコンクリートの緑化に関する研究はほとんどみられず、今後ごみ溶融スラグの利用拡大のために必要な研究データと考えられる。また、ポーラスコンクリートの緑化を目的とした際は、研究の結果とともにポーラスコンクリートの内部空隙を詳細に調査し、緑化の結果との関係性を明らかにすべきであるが、ほとんどがポーラスコンクリートのフレッシュ時および硬化後の空隙率を測定する程度に留まっている。

そこで本研究では、粗骨材にごみ溶融スラグを使用したポーラスコンクリートを作製し、それを植生基盤として緑化実験を実施すると同時に、ポーラスコンクリート内部の空隙性状を評価するために横断面における空隙の個数と面積の定量化をおこない、その結果と緑化実験結果との関係から考察した。さらに、普通ポーラスコンクリートを植生基盤とした実験結果との比較をおこな

い、ごみ溶融スラグの有効利用について検討したものである。また、ごみ溶融スラグの成分は、一般の環境において溶出することは無いといわれているが、今回の実験では植物の生長に悪影響をおよぼすかを実験結果から判断した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および供試体

セメントは、早強ポルトランドセメント（密度 3.13g/cm^3 、比表面積 $4240\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用した。粗骨材として、普通ポーラスコンクリートの場合は碎石（骨材粒径 $5\sim 10\text{mm}$ ：密度 2.63g/cm^3 、吸水率 1.52% 、F.M.6.42 および骨材粒径 $10\sim 20\text{mm}$ ：密度 2.66g/cm^3 、吸水率 1.11% 、F.M.7.02、以下 N と記す）を使用し、それ以外のポーラスコンクリートの場合はごみ溶融スラグを使用した。使用したごみ溶融スラグは、いずれも一般ごみの焼却飛灰を溶融させ、それらを冷却し破碎したものであり、現在最も多く使用されているスラグ KG（以下 KG と記す）、スラグ KB（以下 KB と記す）、スラグ H（以下 H と記す）、

表-1 スラグの物性値

試験項目	試験方法	粗骨材種類						
		KG	KB	H	CH	O	N 5~10mm	N 10~20mm
粗粒率	JIS A 1102	6.55	6.46	6.81	4.61	8.46	6.42	7.02
絶乾密度 (g/cm^3)	JIS A 1110	2.92	2.80	2.80	2.81	2.84	2.63	2.66
吸水率 (%)	JIS A 1110	0.44	0.32	0.98	0.60	0.50	1.52	1.11
単位容積質量 (kg/m^3)	JIS A 1104	1681	1620	1682	1680	1570	1567	1593
実積率 (%)	JIS A 1104	58.2	57.9	60.5	59.6	55.2	60.4	60.5

*1 東北学院大学 工学部環境建設工学科 PD 博士（工学）（正会員）

*2 東北学院大学 工学部環境建設工学科教授 工博（正会員）

*3 宮城大学 食産業学部環境システム工学科准教授 博士（農学）（正会員）

*4 東北学院大学 工学部環境建設工学科准教授 博士（工学）（正会員）



写真-1 各種ごみ溶融スラグ

スラグ CH（以下 CH と記す）およびスラグ O（以下 O と記す）の 5 種類とした。スラグの名称は、骨材を作製した工場所在地名としており、表-1 はその物性値を、写真-1 はごみ溶融スラグの写真（粒径 10~20mm）を示している。写真の通り、ごみ溶融スラグは、それぞれ表面形状および色彩に大きな差がみられる。スラグ KG は表面がなめらかで光沢があるのが特徴であることに対して、スラグ O は表面に凹凸があり、滑らかな面ではないことが特徴的である。粗骨材の粒径は、いずれのポーラスコンクリートにおいても寸法 5~10mm（以下 Gmax10mm と記す）と寸法 10~20mm（以下 Gmax20mm と記す）の 2 粒径とした。Gmax20mm は、緑化に際して一般的に使用されている粒径のために使用したが、Gmax10mm は Gmax20mm の結果と比較するために使用した。なお、ごみ溶融スラグの粒径は、固化してあるスラグをクラッシャーで破碎し、ふるい分けによって 2 粒径とした。混和剤は施工性を考慮して、ポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減水剤を使用した。

供試体の種類は、碎石を用いた普通ポーラスコンクリートと、各種ごみ溶融スラグを用いたポーラスコンクリートを使用して実験をおこなった。また、ポーラスコンクリートは、全部で計 6 タイプ、12 種類とした。供試体は、はじめに手練りにて材料全てを混ぜてから傾型式ミキサに投入し、90 秒間練り混ぜ作製した。

各実験に使用した供試体の寸法について、室内における緑化実験の供試体は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱型枠に二層に分けて詰め、硬化後 $\phi 100 \times 30\text{mm}$ にカットして実験を開始した。屋外における緑化実験の供試体は、 $\phi 150$

表-2 ポーラスコンクリートの配合

Gmax (mm)	W/C (%)	単位量 (kg/m^3)		
		W	C	G
10	25	73.5	294.5	1551
20				

$\times 300\text{mm}$ の円柱型枠に三層に分けて詰め、硬化後 $\phi 150 \times 40\text{mm}$ にカットして実験を開始した。空隙率の定量化実験の供試体は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱型枠に二層に分けて詰め、硬化後 $\phi 100 \times 66\text{mm}$ にカットして実験を開始した。これは、空隙の定量化をおこなう微小焦点 X 線 CT スキャンシステムの撮影範囲の許容高さが約 70mm 程度であるため、この寸法で実験をおこなった。なお、微小焦点 X 線 CT スキャンシステムは、ポーラスコンクリート内部を非破壊的に観察および三次元撮影が可能な装置である。空隙の定量化は、撮影した三次元画像を水平方向に二次元的に観察し、空隙の部分のみの面積および個数を上面から 6.6mm 間隔で、計 10 断面の測定をおこなった。圧縮試験の供試体は、 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ の円柱型枠に三層に分けて詰め、作製した。また、各試験の供試体の締固めは、突き棒によっておこなった。いずれの供試体も脱型後に標準養生をおこない、材齢 7 日後に実験を開始した。ポーラスコンクリートの配合は、表-2 に示す。この配合は、ポーラスコンクリートの一般的な配合を参考にして決定したものである。

2.2 物性試験

ポーラスコンクリートの物性試験は、フレッシュ時に空隙率測定試験とセメントペーストのフロー試験をおこない、また、標準養生 7 日後に圧縮強度試験をおこなった。空隙率の測定は、ポーラスコンクリートのフレッシュ時の空隙率測定試験方法⁶⁾に準じて、セメントペーストのフロー試験は、JIS R5201 のセメントの物理試験方法に準じて、圧縮強度の測定は、JIS A1108 のコンクリートの圧縮試験方法に準じておこなった。

2.3 緑化実験

(1) 室内における緑化実験

予備実験として実施した実験室内における緑化実験は、一般的な緑化方法と異なり、充填材や表層基盤に用いる土壌材料を使用せず、代用として無色透明な植物育成用培養ゲルを各種ポーラスコンクリートの上面に敷き、供試体ごとに同量の種子 ($0.013\text{g}/\text{cm}^2$) を配置した。使用した種子は、芝の一種であるトルフェスクとした。また、充填材の代用として、植物に必要な二価鉄イオンを主成分とする栄養活力剤を水に希釀したものを作製し、その栄養水の中にポーラスコンクリートを浸し、植物の根の伸長を促進させた。この方法は、土壌が存在する場合と比べて障害物が無い分、根の伸長挙動が異なると考えられるが、比較要因が空隙のみとなることから、

根の伸長と空隙性状との関係を正確に求められるものと考えた。また、培養ゲルや栄養水を使用することで根の生長の観察が容易であり、また、早期に実験データが得られると考えられる。緑化の環境は、実験室内の恒温恒湿室に水槽を設置し、その中に各種ポーラスコンクリートを配置した。また、水槽上部には植物育成用蛍光灯を設置し、露地栽培に近い状態で植物を育成できるようにした。照明時間は、実験に使用した植物が芝の一種であるため暗期を考慮して、10時間/日とした。

(2) 屋外における緑化実験

屋外における緑化実験は、表層基盤として一般的に用いられている土壤材料と種子 (0.013g/cm^2) と混合し、各種ポーラスコンクリートの上面に厚さ 50mm 被覆した。使用した種子は、室内実験と同様にトールフェスクとした。また、充填材は、土壤材料の代用として栄養水を作製し、その栄養水の中にポーラスコンクリートを浸し、植物の根の伸長を促進させた。これは、室内実験と同様に、充填材に土壤材料を使用しないことにより、根の生長の観察が容易であり、また、早期に実験データが得られると考えたからである。緑化の環境として供試体は、本学屋上に配置した。また、雨や風が影響しないようにビニルハウスを設置し、その中に供試体を配置した。

植物の生長過程は、室内および屋外における緑化実験とも、7日ごとにデジタルカメラによって撮影し、その度、植物の葉の部分を 1mm 単位で測定した。測定は、生長した葉の長さを測定し、複数の測定値を平均したものとした。なお、測定はコドラー法⁷⁾に準じておこなった。また、所定の日数が経過した時に、葉の部分および供試体を割裂し採取した根の部分を乾燥させ、それぞれの乾物重量を測定し、各種ポーラスコンクリートにおける植物生長量の比較をおこなった。

2.4 空隙定量化実験

ポーラスコンクリート内部の空隙性状は、微小焦点 X 線 CT スキャンシステムを用いて調べた。空隙性状は、各種ポーラスコンクリートごと、骨材粒径ごとの総空隙面積と総空隙個数を $0\sim600\text{ mm}^2$ の範囲内を 50 mm^2 ごととそれ以上に分けてカウントし、面積範囲ごとに分布化するによって、その傾向から比較検討をおこなった。供試体は、前述したとおり、硬化後 $\phi 100\times66\text{mm}$ にカットして実験を開始するが、一本の供試体 ($\phi 100\times200\text{mm}$) を三等分にカットし、供試体を上、中および下に分けて定量化をおこなった。これは、三つの供試体から定量化データを得ることで、高さ方向の影響を考慮したためである。なお、定量化をおこなった断面は、各供試体から 10 断面を抽出したものであり、各断面から得られた空隙面積および空隙個数の測定データを平均化したものである。

3. 実験結果および考察

3.1 物性試験結果

表-3 に各種ポーラスコンクリートの空隙率、セメントペーストのフロー値および圧縮強度を示している。物性試験は、練り混ぜ直後のフレッシュ時に測定をおこなった。セメントペーストは、スクリーニングをおこない得られたものを使用している。空隙率では大きな差が確認できず、いずれも目標値に近い値となつたが、フロー値では骨材によって値に差が出る結果となつた。これは骨材の種類によって表面形状が異なるために、セメントペーストと骨材との付着性状が異なり、このような結果となつたと考えられる。圧縮強度においては、ごみ溶融スラグでは普通ポーラスコンクリートと比較すると、KG が両粒径とも低い値となり、また、O が Gmax10mm も低い値となつた。原因は、骨材とセメントペーストとの付着の問題と考えられるが、その付着性状については、今後の課題と考えている。したがって、KB や O を使用する場合は、シリカフュームをセメントに置換することやポーラスコンクリートの配合を変化させるなどの考慮が必要であると思われる。しかしながら、他のごみ溶融スラグを用いたポーラスコンクリートの圧縮強度は、普通ポーラスコンクリートと近い値であるため、普通ポーラスコンクリートと同環境に設置しても、強度的に問題ないと思われる。

3.2 緑化結果結果

表-4 に室内および屋外における緑化実験結果を示す。なお、葉の生長を測定した結果は、表-4 の乾燥重量結果と同じ傾向であった。したがって、本文では植物生長の一般的評価である乾燥重量の測定結果のみを報告している。はじめに室内における緑化実験を予備的に実施したが、いずれのごみ溶融スラグを使用した緑化の結果とも、普通ポーラスコンクリートと同程度の生長量が確認できた。したがって、つぎに屋外に環境を移し、暴露的に緑化実験をおこなつた。この結果は、63 日後の緑化実験の結果であるが、植物の葉の生長に関しては、室内の緑化実験と同様に骨材の種類によって多少の生長差

表-3 各種ポーラスコンクリートとの物性試験結果

粒径	種類	空隙率 目標: 26 (%)	フロー値 目標: 175 (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)
Gmax 10mm	N	26.1	181	13.2
	KG	26.7	191	10.9
	KB	26.8	193	4.2
	H	25.8	175	11.8
	CH	26.0	179	9.5
	O	26.7	193	7.0
Gmax 20mm	N	25.7	180	7.8
	KG	26.3	196	7.2
	KB	27.8	188	4.0
	H	25.6	163	9.1
	CH	27.1	176	8.0
	O	27.3	202	6.5

表-4 植物の生長結果（葉および根）

植物葉の生長結果（屋外/室内）			
骨材種類	骨材粒径	乾物重量 (g)	生長量
N	Gmax10mm	4.08/0.38	1.00/1.00
	Gmax20mm	4.81/0.38	1.00/1.00
KB	Gmax10mm	3.09/0.30	0.75/0.78
	Gmax20mm	4.50/0.33	0.93/0.86
KG	Gmax10mm	4.30/0.32	1.05/0.84
	Gmax20mm	4.85/0.35	1.01/0.92
H	Gmax10mm	5.40/0.35	1.32/0.92
	Gmax20mm	5.76/0.37	1.19/0.97
CH	Gmax10mm	4.42/0.40	1.08/1.05
	Gmax20mm	5.53/0.42	1.14/1.10
O	Gmax10mm	3.85/0.34	0.94/0.89
	Gmax20mm	3.99/0.40	0.82/1.05
植物根の生長結果（屋外/室内）			
骨材種類	骨材粒径	乾物重量 (g)	生長量
N	Gmax10mm	5.87/0.02	1.00/1.00
	Gmax20mm	6.41/0.03	1.00/1.00
KB	Gmax10mm	5.46/0.02	0.83/1.00
	Gmax20mm	6.59/0.02	1.02/0.66
KG	Gmax10mm	5.87/0.03	1.00/1.50
	Gmax20mm	6.17/0.04	0.96/1.33
H	Gmax10mm	5.97/0.02	1.01/1.00
	Gmax20mm	6.57/0.03	1.02/1.00
CH	Gmax10mm	5.82/0.02	0.99/1.00
	Gmax20mm	7.10/0.02	1.10/0.66
O	Gmax10mm	5.15/0.02	0.87/1.00
	Gmax20mm	6.09/0.03	0.95/1.00

がみられるものの、いずれのごみ溶融スラグを使用した緑化ポーラスコンクリートにおいても普通緑化ポーラスコンクリートと同等の生長量がみられた。N の植物葉の生長量を 1.0 とすると、Gmax10mm では、それぞれ 0.75, 1.05, 1.32, 1.08 および 0.94 倍であり、Gmax20mm では、0.93, 1.01, 1.19, 1.14 および 0.82 倍となった。植物の根の生長に関しては、植物の葉の生長と同傾向の結果が示され、N の生長量を 1.0 とすると、Gmax10mm では、それぞれ 0.83, 1.0, 1.01, 0.99 および 0.87 倍であり、Gmax20mm では、1.02, 0.96, 1.02, 1.10 および 0.95 倍となった。いずれのごみ溶融スラグを使用した緑化ポーラスコンクリートにおいても、普通緑化ポーラスコンクリートと同等の生長結果が得られた。骨材種類別において、H を使用したポーラスコンクリートの生長量が大きかったが、骨材の種類によって生長量に差がみられるのは、骨材の形状が異なることによって、空隙同士の連続部分の形状に若干の違いが生じ、植物の生長に差が現れたと考えられる。しかしながら、これらの緑化実験の結果から、ごみ溶融スラグ骨材の成分が、植物の生長におよぼす影響はほとんどない結果となった。また、骨材粒径別に比較すると骨材の種類にかかわらず、Gmax10mm に比べて Gmax20mm を使用した緑化ポーラスコンクリートの生長量が大きい結果となった。これは、骨材粒径が大きくなると個々の空隙が大きくなり生長に良き効果を与えると考えられる。

3.3 空隙定量化結果

図-1 および図-2 は、骨材粒径ごとに各種ポーラスコンクリート内部の総空隙面積と総空隙個数を示したものである。総空隙面積では、いずれの供試体とも近い値となった。これは、目標空隙率および実際に測定した空隙率が各ポーラスコンクリートとも近い値となったためと考えられる。一方、総空隙個数では、骨材粒径による大きな差がみられ、Gmax10mm が Gmax20mm よりも 2 倍以上確認できた。

図-3～図-14 は、さらに詳細な空隙のデータを得るために、空隙範囲を 50mm^2 ごとに空隙個数をまとめた結果であり、骨材粒径および骨材種類別に示している ($A=0\sim50\text{mm}^2$, $B=51\sim100\text{ mm}^2$, $C=101\sim150\text{ mm}^2$, $D=151\sim200\text{ mm}^2$, $E=201\sim250\text{ mm}^2$, $F=251\sim300\text{ mm}^2$, $G=301\sim350\text{ mm}^2$, $H=351\sim400\text{ mm}^2$, $I=401\sim450\text{ mm}^2$, $J=451\sim500\text{ mm}^2$, $K=501\sim550\text{ mm}^2$, $L=551\sim600\text{ mm}^2$, $M=601\text{mm}^2$ 以上)。Gmax10mm では、 $0\sim50\text{mm}^2$ にそのほとんどが集中しており、 151 mm^2 以上の空隙がほとんどみられないのが特徴的であった。また、図-15 の骨材粒径別における三次元画像から空隙は、目視でもわかるように小さい空隙の集合体であることが確認できた。これは骨材同士の接触箇所が多いいため、個々の空隙も小さくなつたためと考えられる。一方、Gmax20mm では、空隙個数自体が

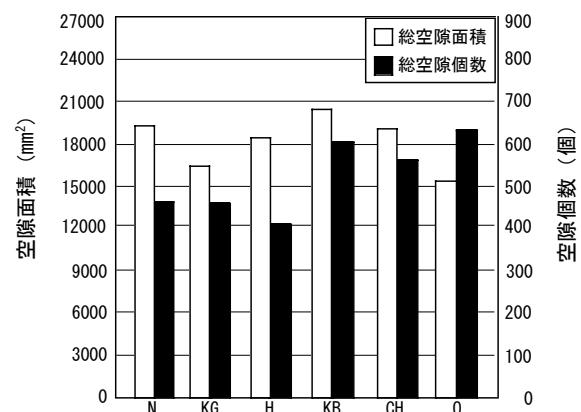


図-1 総空隙面積と総空隙個数 (Gmax10mm)

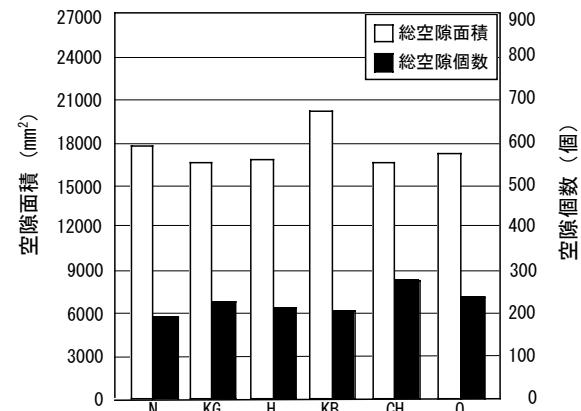


図-2 総空隙面積と総空隙個数 (Gmax20mm)

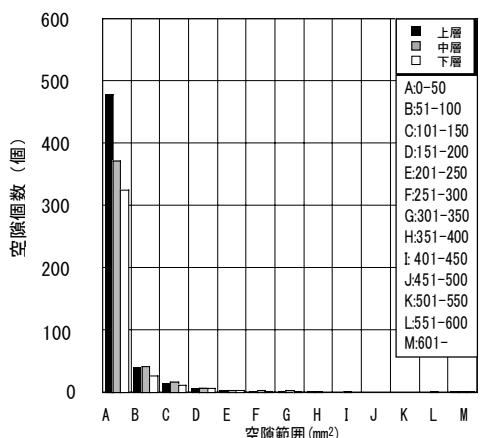
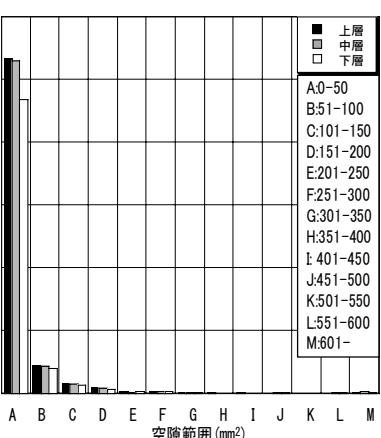


図-3 範囲別の空隙個数(N・Gmax10mm) 図



-4 範囲別の空隙個数 (KB・Gmax10mm)

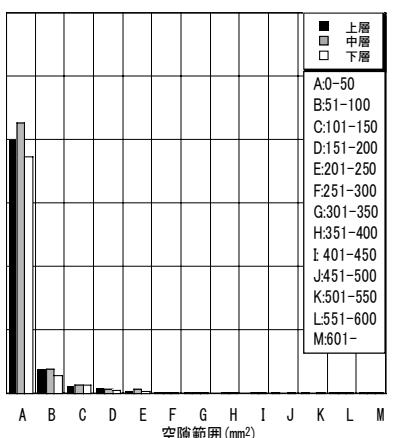


図-5 範囲別の空隙個数 (KG・Gmax10mm)

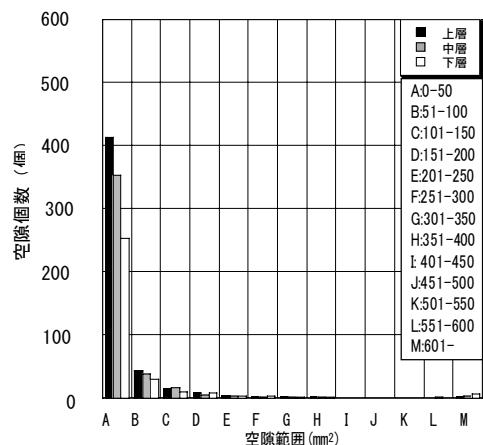
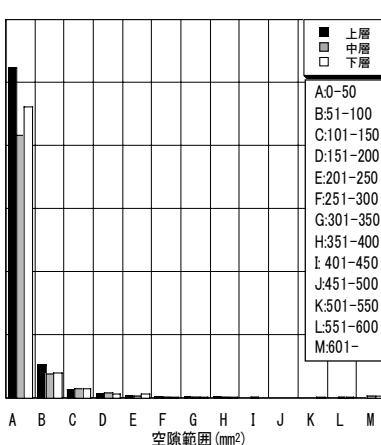


図-6 範囲別の空隙個数(H・Gmax10mm) 図



1-7 範囲別の空隙個数(CH・Gmax10mm)

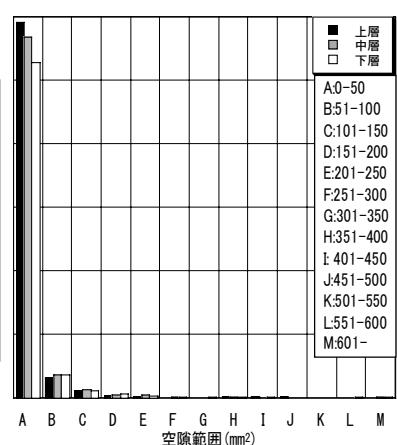


図-8 範囲別の空隙個数(0・Gmax10mm)

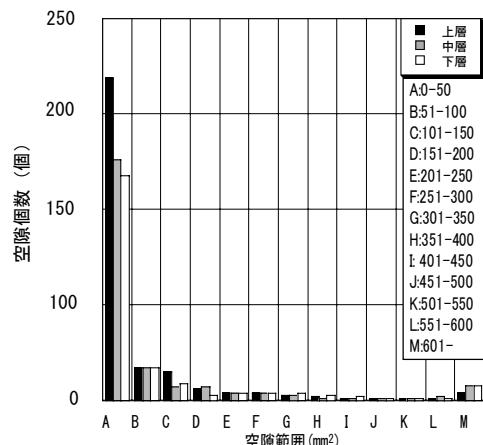
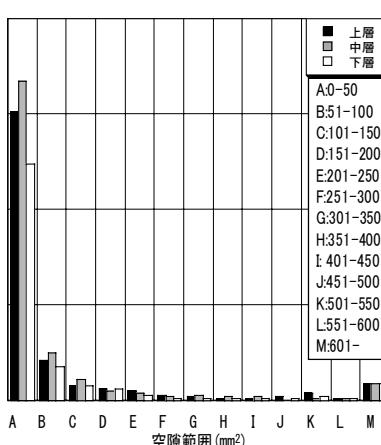


図-9 範囲別の空隙個数(N·Gmax20mm) 図-



10 範囲別の空隙個数 (KB・Gmax20mm)

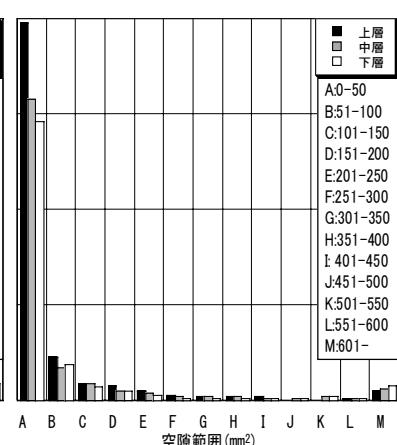


図-9 範囲別の空隙個数 ($N \cdot G_{max} \times 20mm$) 図-10 範囲別の空隙個数 ($KB \cdot G_{max} \times 20mm$) 図-11 範囲別の空隙個数 ($KG \cdot G_{max} \times 20mm$)

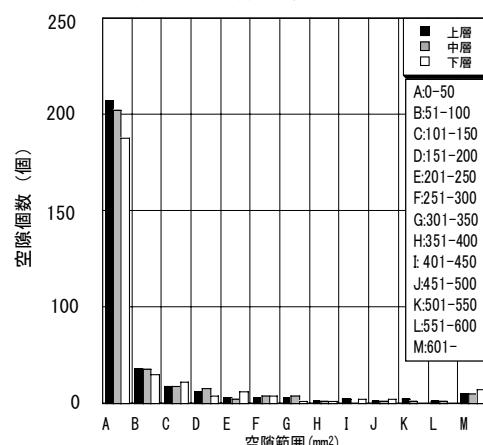
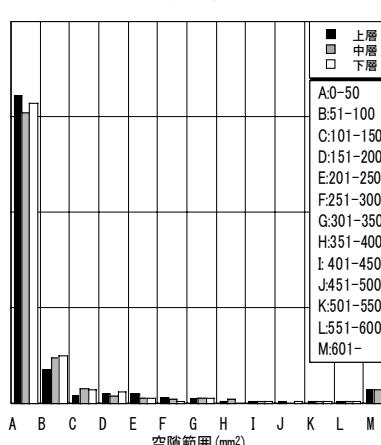


図-12 範囲別の空隙個数(H・Gmax20mm) 図-



13 範囲別の空隙個数(CH・Gmax20mm)

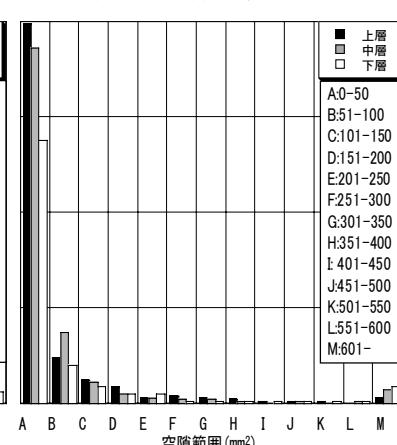


図-12 範囲別の空隙個数(H・Gmax20mm) 図-13 範囲別の空隙個数(CH・Gmax20mm) 図-14 範囲別の空隙個数(0・Gmax20mm)

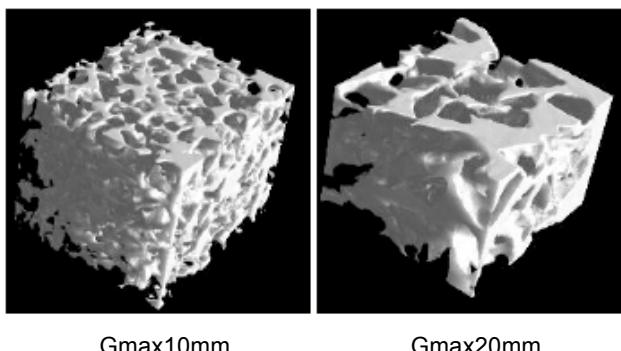


図-15 骨材粒径別ポーラスコンクリートの空隙画像

Gmax10mm よりきわめて少ない結果となった。しかし、いずれの骨材の種類に関しても 151mm^2 以上の各空隙範囲において空隙が存在し、 600mm^2 以上の大空隙も存在しているのが特徴的だった。また、図-15 の骨材粒径別における三次元画像から空隙は、Gmax10mm の空隙に比べ大きい空隙の集合体であることが確認できた。よって、上記の結果より、普通ポーラスコンクリートの空隙性状とごみ溶融スラグを用いたポーラスコンクリートの空隙性状とでは、同様に示されることから、緑化を考慮した際に最も重要視される空隙性状に関して、植物の生長に問題ないと思われ、緑化ポーラスコンクリートとして利用が可能であると考えられる。

以上までの実験結果より、普通ポーラスコンクリートとごみ溶融スラグを使用したポーラスコンクリートとでは、一部のごみ溶融スラグについての圧縮強度の問題を除くと、大きな遜色がみられないことがわかった。したがって、その低強度のごみ溶融スラグ以外のスラグに関しては、緑化ポーラスコンクリートとしての緑化機能を発揮できるのではないかと考えられる。

4. まとめ

本研究は、骨材としてごみ溶融スラグを使用し、緑化実験と空隙の定量化実験結果から普通ポーラスコンクリートと比較し、ごみ溶融スラグの利用拡大を目指したものである。本研究の範囲内では、以下のことがいえる。

(1) ごみ溶融スラグを骨材として用いたポーラスコンクリートの圧縮強度は、普通ポーラスコンクリートと比較すると、スラグ KB およびスラグ O 以外、同程度の値が得られた。したがって、スラグ KB およびスラグ O を用いる場合は、補強や配合を変化させるなどの配慮が必要と思われる。また、他のごみ溶融スラグ骨材を用いる場合は、緑化を目的とした環境の要求強度として、問題がないと思われる。

(2) 室内および屋外における緑化実験結果から、植物の葉および根の乾物重量を測定した結果は、普通ポーラスコンクリートと比べると、いずれのごみ溶融スラグを

用いた緑化ポーラスコンクリートの結果とも同等の生長量が確認できた。また、粒径別に比較すると、いずれの緑化ポーラスコンクリートにおいても、Gmax10mm に比べて Gmax20mm の植物生長量が大きい結果となった。

(3) ポーラスコンクリート内部の空隙を定量化した結果、普通ポーラスコンクリートとごみ溶融スラグを使用したポーラスコンクリートとでは、大きな差がみられず、空隙面積および空隙個数とともに同じ傾向が確認できた。骨材粒径別に調べると、総空隙面積は同等であるが、空隙個数には大きな差が確認できた。また、Gmax20mm の植物生長量が大きい結果から、植物の生長には 151mm^2 以上の空隙面積が有効であると考えられる。したがって、空隙性状の観点から、本実験で使用したごみ溶融スラグのポーラスコンクリートは、植生基盤として緑化が可能であると思われる。

謝辞：本研究を実施するに際して、溶融スラグ石材研究会には多大なるご協力をいただいた。ここに付記し厚く御礼申し上げます。また、研究遂行にあたり、平成 20 年度東北学院大学工学部の一条康弘氏、菅原聰氏にはご協力をいただいた。ここに付記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北辻政文, 田中礼治 : ごみ焼却灰溶融スラグのコンクリート用粗骨材としての利用に関する基礎的研究, 農業土木学会論文集, No.225, pp.389-396, 2003.6
- 2) 湯浅幸久, 前川明弘, 畠中重光 : 廃棄物粉体を混和したポーラスコンクリートの物理性能, セメントコンクリート論文集, Vol.55, pp.666-673, 2001.2
- 3) 武田浩二ほか : 産業副産物を活用したポーラスコンクリートの藻場復元材料への応用, セメントコンクリート論文集, Vol.61, pp.523-528, 2007.2
- 4) 山地功二ほか : 各種リサイクル材料を混入したポーラスコンクリートの植生に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.25, No.1, pp.1193-1198, 2003.6
- 5) 大谷俊浩ほか : 産業副産物を使用したポーラスコンクリートの力学特性および耐久性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.1, pp.1431-1436, 2004.6
- 6) 日本コンクリート工学協会 : ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会方報告書, 2003.5
- 7) 日本コンクリート工学協会 : 環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究委員会報告書, 2007.7