

再生骨材のポーラスコンクリートへの利用に関する研究

Utilization of recycled aggregate to the porous concrete

磯村 保司†, 森野 奎二††, 岩月 栄治††
Yasushi ISOMURA, Keiji MORINO, Eiji IWATSUKI

Abstract : This paper describes the possibility of the utilization of recycled aggregate and by-product aggregate to the porous concrete (POC). In this experiment, two kinds of recycled aggregates and a by-product slag aggregate were used; namely, recycled aggregate produced by crushing concrete made in laboratory, another recycled aggregate produced by crushing field-demolished concrete, and electric arc furnace oxidizing slag aggregate, which is produced as a by-product from the steel-making process. This experiment investigated how aggregate kind and void content of POC influence the strength, static modulus of elasticity, permeability of POC and coexistence of POC with plants. This study indicated that the continuous voids approximated 98% of the total ones, and the total voids were 20-30%. These voids influenced the properties and application of POC. The strength of POC was inversely proportional to the void quantity. And also the strength of POC using recycle aggregate adhered to coarse aggregate a large amount of mortar was low. In this case, to improve aggregate was necessary. The growth of the plants (Kentucky bluegrass and White clover) was possible by filling the void of POC in the fertilizer. The growth was about 8cm in height after two months. In the observation of the cross section of POC, the root of the plants grew to 5.5cm depth in the inside of the POC in two months. ¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾

1. はじめに

コンクリートは、資源を大量に消費するので、循環型社会の構築、資源・環境保全のために再生利用することが求められている。その再生利用として、一つの有力な方法は解体コンクリートから再生骨材を造ることである。しかし、その用途のほとんどは低品質でも利用可能な路盤材や裏込め材であり、付加価値の高いものへの利用が望まれている。

一方、コンクリートには自然環境に悪影響を及ぼさないような工夫が求められるようになった。例えば、河川の護岸工事では、環境に配慮した構造物として植物の繁殖、水質浄化、生物のすみかとしての機能を有する緑化ポーラスコンクリートが注目されている¹⁾。²⁾

このような背景から、本研究では再生骨材をポーラ

スコンクリート用骨材として利用することを目的として、再生骨材自体の諸性質やポーラスコンクリートの強度特性・植物生育状況を調べることにした。

解体コンクリート塊をコンクリート用骨材として利用する上で問題となるのは、吸水率が大きいこと、骨材強度が小さいこと、骨材品質にばらつきがあること等である。そこで、本研究では性質の異なる 2 種類の再生骨材を用いることにした。1 種は解体コンクリート塊から製造された一般的な再生骨材、他種は実験室で作製したコンクリート供試体を破碎した再生骨材である。また、製鋼工程で副産物として発生する電気炉酸化スラグを骨材としたもの、および比較のための天然骨材として砂岩碎石を用いた。これら 4 種類の骨材を使用したポーラスコンクリートの全空隙率・連続空隙率、圧縮強度、静弾性係数、および透水性を調べた。

次いで、緑化コンクリートへの利用可能性を調べるために実際に 2 種類の植物の種子(ケンタッキーブルーグラスとホワイトクローバー)を植え付け、その生育状況を観察した^{3) 4)12)14)15)}。

† 愛知工業大学 建設システム工学専攻(豊田市)

†† 愛知工業大学 工学部 土木工学科(豊田市)

表 1 再生骨材作製用コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE 減水剤 (ml/m ³)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
20	8.0	6.0	45	45	165		367	774	979	90
			50				330	788	996	50
			55				300	799	1010	34
			60				275	808	1022	32
			65				254	816	1032	32

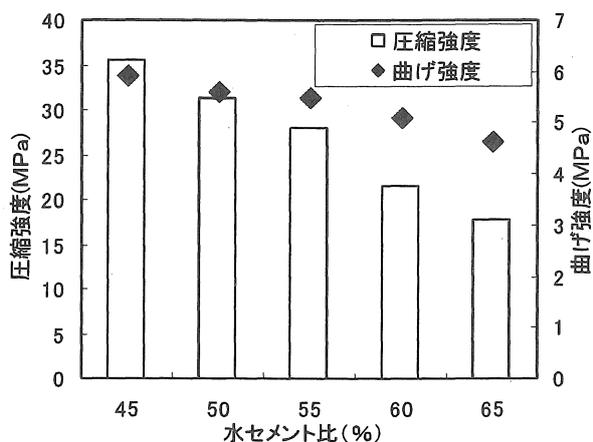


図 1 再生骨材作製用コンクリート強度特性

2. 実験方法

2-1 実験の概要

骨材粒径 5~15mm の解体骨材、再生骨材⁸⁾⁹⁾、電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材を使用し全空隙率 20、25、30%を有するポーラスコンクリートを作製し、養生後、全空隙率・連続空隙率、透水、圧縮強度、静弾性係数および植物生育試験を行った。

2-2 使用材料

結合材として普通ポルトランドセメントと高炉水砕スラグ微粉末⁵⁾(置換率 50%)を用いた。減水剤は特殊アニオン系高分子界面活性剤を用いた。今回使用した再生骨材は 2 種類であり、解体コンクリート塊を 40mm 以下に破碎した骨材(以下解体骨材と称する)と実験室で作製したコンクリート供試体をプレーキジョークラッシャで破碎し得た骨材(以下再生骨材と称する)である。再生骨材作製用コンクリートの配合表を表 1 に示す。表 1 の配合によりコンクリートを作製して、28 日間 20℃で水中養生しその後各強度試験を行った。その強度試験結果を図 1 に示す。強度試験後の供試体を粗割りにして、プレーキジョークラッシャで破碎し再生骨材とした。これをふるい分けしてポーラスコンクリートを作製したものである。比較のため砂岩碎石(愛知県春日井産)を使用した。

表 2 骨材の諸性質

骨材	骨材粒径 (mm~mm)	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
解体骨材	5~10	2.33	2.16	7.12
	10~15	2.38	2.25	5.57
再生骨材	5~10	2.52	2.42	3.81
	10~15	2.54	2.49	2.68
電気炉酸化スラグ骨材	5~10	3.50	3.45	1.45
	10~15	3.49	3.44	1.32
天然骨材	5~10	2.68	2.66	0.851
	10~15	2.65	2.63	0.470

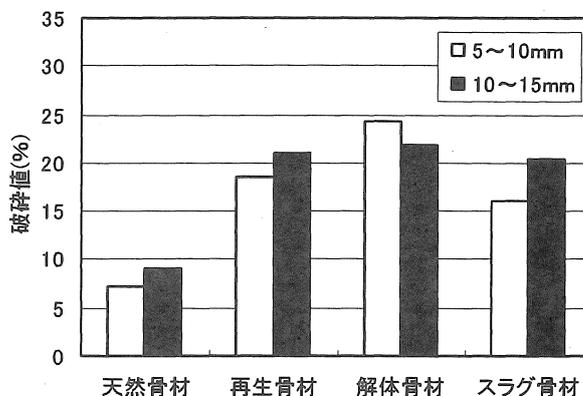


図 2 骨材の破碎試験結果

解体骨材、再生骨材、電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材の諸性質を表 2、図 2 に示す。表 2 では解体骨材、再生骨材は天然骨材と比べると密度が小さく、吸水率が大きい。これは両再生骨材の周りにモルタルが付着して空隙が多いからである。図 2 より破碎値が 10%以下である天然骨材は強硬な骨材と評価され、破碎値が 30%を越えると軟弱な骨材とされる。解体骨材・再生骨材は破碎値が 20%前後であり、解体骨材・再生骨材は強硬な骨材と評価されないが十分にポーラスコンクリート用骨材として使用可能である。電気炉酸化スラグ骨材は破碎値は 16~20%であり、あまり大きくないが、骨材の強度は碎石以上であるといえる。これは、電気炉酸化スラグ骨材の表面に凹凸が多いため破碎値が大きくなる傾向があるからである。

表 3 配合表

使用骨材	全空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)							AE減水剤 (ml/m ³)
		水	セメント	高炉水砕スラグ微粉末	粗骨材				
					5mm~10mm		10mm~15mm		
					解体・再生	天然・スラグ	解体・再生	天然・スラグ	
解体骨材	20	100	167	167	693	—	705	—	667
	25	80	133	133	684	—	695	—	533
	30	60	100	100	675	—	686	—	800
再生骨材	20	100	167	167	743	—	749	—	667
	25	80	133	133	733	—	739	—	533
	30	60	100	100	723	—	729	—	800
天然骨材	20	105	175	175	—	776	—	779	700
	25	85	142	142	—	765	—	768	567
	30	65	108	108	—	755	—	758	433
スラグ骨材	20	105	175	175	—	1014	—	1011	700
	25	85	142	142	—	999	—	997	567
	30	65	108	108	—	986	—	983	433
再生骨材混合率30%	20	105	175	175	219	543	221	545	700
	25	85	142	142	216	536	218	538	567
	30	65	108	108	213	529	215	531	433
再生骨材混合率60%	20	100	167	167	446	315	449	317	667
	25	80	133	133	440	311	444	313	533
	30	60	100	100	434	307	437	309	800

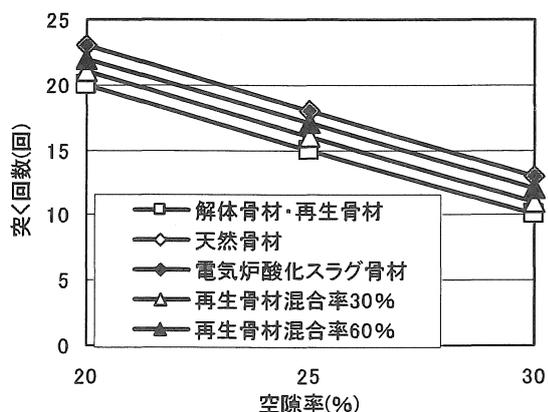


図 3 使用骨材別の突く回数

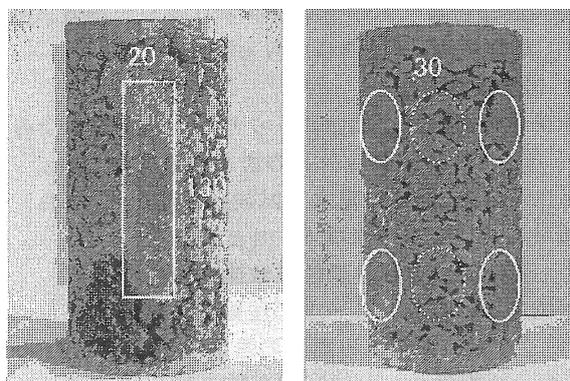


写真 1 セメントペーストの塗り付け状態

2・3 示方配合

ポーラスコンクリートの配合は水セメント比を30%一定とし、全空隙率を5%ずつ変化させ、単位水量を20kg/m³ずつ変えた。また両再生骨材を用いる場合、骨材の周りに付着しているモルタルが練混ぜ中に碎けて空隙部分に詰まり、全空隙率が小さくなるので、天然骨材を用いる場合より単位水量を5kg/m³少なくした。その配合表を表3に示す。

2・4 供試体作製方法

ポーラスコンクリートの練混ぜは、強制練りミキサでセメント、高炉水砕スラグ微粉末を約15秒間空練りした後、高性能AE減水剤と水を加え、約100秒間練り混ぜてセメントペーストのみを作製した。その後、強制練りミキサで約30秒間空練りした粗骨材に上記のセメントペーストを加え、更に約180秒間練り混ぜた。

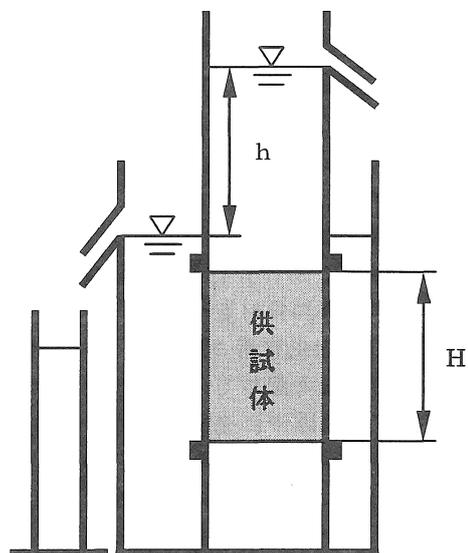


図 4 定水位試験装置

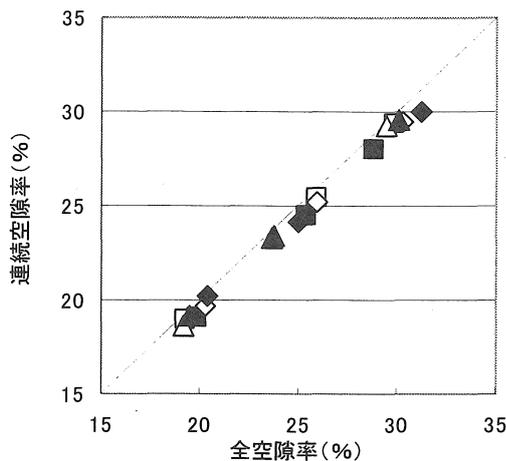


図 5 全空隙率・連続空隙率試験結果

コンクリートの打込みは、ほぼ等しい厚さの 5 層に分けて詰め、各層ごとに上面を突き棒でならした後に、23~10 回(空隙率ごとに突く回数を変える)突いて締め固めた(図 3)。養生は、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 水中養生、28 日間とした。

2.5 全空隙率・連続空隙率測定方法

全空隙率・連続空隙率の測定は、エココンクリート研究委員会報告書「ポーラスコンクリートの空隙率測定方法(案)容積法」¹⁾に準じて行った。

2.6 透水試験方法

透水係数の測定は、エココンクリート研究委員会報告書「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)」¹⁾によって行った。図 4 に定水位試験装置を示す。なお、透水試験における水頭差は 6 cm とした¹⁶⁾。

2.7 圧縮強度および静弾性係数測定方法¹⁰⁾¹¹⁾

圧縮強度は、コンクリートの圧縮強度試験方法(JIS A 1106)で行い、供試体の両面の処理は JIS A 1132 の 4.4 に準じて両面キャッピングを行った。

静弾性係数測定は、コンクリートの静弾性係数試験方法(JSCE-G 502-1988)に準じて行い、両面キャッピングと解体骨材は相対する 2 面に幅約 20mm 長さ約 130mm、その他は供試体側面の 3 面、上下 2ヶ所に直径約 30mm にあらかじめセメントペースト(W/C=30%)を塗り付けて表面を平滑にした後(写真 1)、ひずみ測定機およびコンプレッソメーターで測定した。

2.8 植物生育試験方法

植物生育試験は、解体骨材・再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材を使用し、縦×横×厚さ $30 \times 30 \times 10$ cm の植物生育用コンクリートを作製した。アルカリ分の溶出を考慮して 28 日間以上水中養生をした⁵⁾。さらに、空隙中に充填材を施し、供試体上面に厚さ約 20mm の培養土で覆うもの(植物生育試験 1⁶⁾⁷⁾)と、供試体空隙中に充填材の培養土を詰め込み植物生育用コンクリート上面に土が被らないようにした

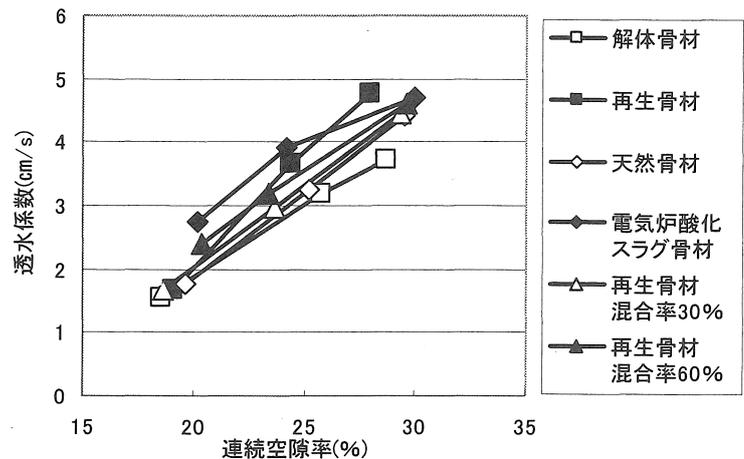


図 6 透水試験結果

もの(植物生育試験 2)、そこへケンタッキーブルーグラス(KBG 寒地型でアルカリに強い芝草)、ホワイトクローバー(WCL 主根は地下深くまで伸びる)の種を植え付け、屋外および屋内(日中ガラス越しに太陽があたる窓際、室温 10°C から 20°C)に静置した。それらの生育状況を 1 週間ごとに 8 週目まで測定・観察した。また、比較として厚さ約 100mm の培養土に種を植え付け、生育状況を観察した。更に、種子の発芽率を調べるために無作為に 100 個づつ採取した種を水耕栽培した。

2.9 断面観察方法

円柱供試体、植物生育用コンクリートをダイヤモンドカッターで切断し、解体骨材・再生骨材の構成状態、セメントペーストの付着状態、空隙の状態¹³⁾、骨材の詰まり方、植物のポーラスコンクリート空隙中への根の進入状況等を観察し、デジタルカメラを用いて記録した。

3. 結果および考察

3.1 ポーラスコンクリートの全空隙率・連続空隙率測定結果

解体骨材・再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材使用のポーラスコンクリートの全空隙率・連続空隙率測定結果を図 2 に示す。図 2 は、今回使用した骨材の目標空隙率を確保できたものを選んで、その結果を表 2 の配合表に示した。図 2 では全空隙率が多い供試体ほど連続空隙率も大きくなっており、全空隙率と連続空隙率は使用した骨材に関係なく、高い相関関係が認められる。全空隙における連続空隙の割合は 96%~99% であり空隙のほとんどが連続空隙であるといえる。

3.2 ポーラスコンクリートの透水試験結果

解体骨材・再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材使用のポーラスコンクリートの透水試験結果

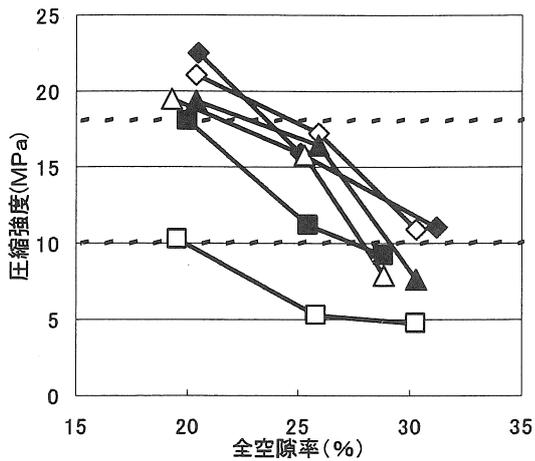


図 7 圧縮強度試験結果

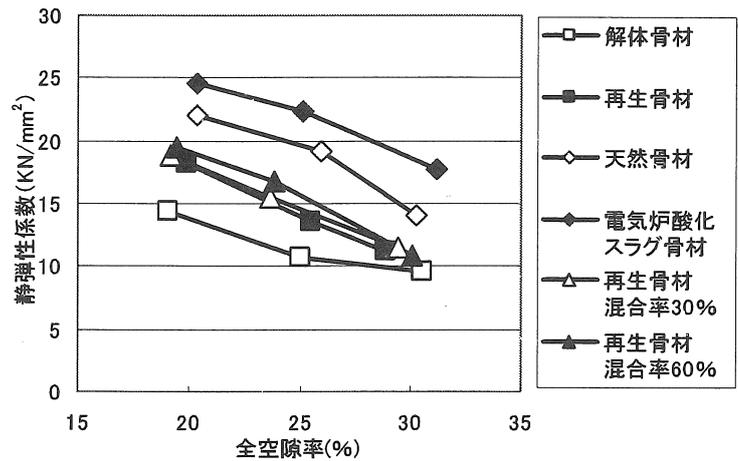


図 8 静弾性係数測定試験結果

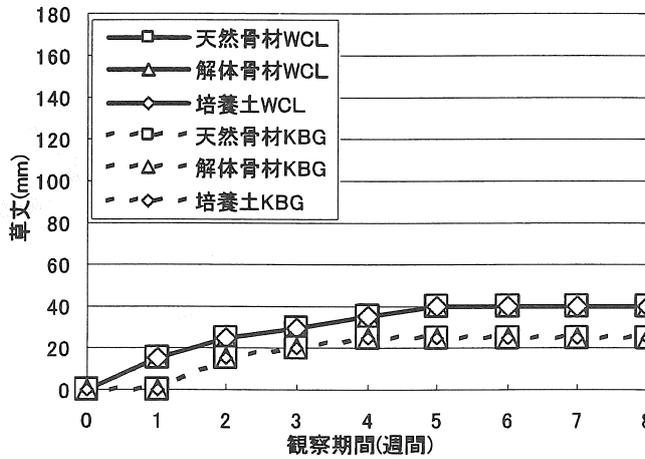


図 9 植物生育試験 1 結果(表土: 20mm)

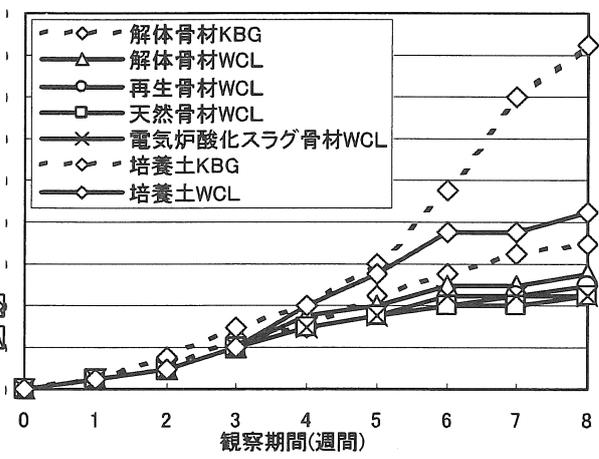


図 10 植物生育試験 2 結果(表土: なし)

を図 3 に示す。図 3 より、連続空隙率が大きな供試体ほど透水係数が約 14%~54%大きくなり、連続空隙率と透水係数には高い相関関係が認められた。しかし、同程度の空隙率でも透水係数は使用骨材によって約 22%~43%小さくなっている。図で、解体骨材、再生骨材の透水係数が他の骨材と比べて小さいのは突き固め時に骨材が砕け空隙が少なくなったことによる考えられる。

一般に、砂の透水係数は中砂(0.25mm~0.5mm)で 0.85mm/s、粗砂(0.5mm~1mm)で 3.5mm/s 程度であり、ポーラスコンクリートの透水係数はこれらと比較すると非常に高い。全ての透水係数が 1.5cm/s 以上であることから、多少目詰まりしても透水性には大きな影響はないといえる。

3-3 ポーラスコンクリートの圧縮強度結果

解体骨材・再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材使用のポーラスコンクリートの圧縮強度試験結果を図 4 に示す。図 4 より、全空隙率の増加にともない圧縮強度が約 10~49%小さくなっている。また、解体骨材・再生骨材を使用したポーラスコンクリートの圧縮強度は、天然骨材を使用したものよりもそれぞ

れ約 52~70%、14~35%小さい。このことは、解体骨材・再生骨材には原コンクリートのモルタルが付着しているために骨材の強度が弱いからである。解体骨材と再生骨材を比較すると解体骨材は約 43%~53%小さくなっている。これは原コンクリートの骨材強度や骨材中の空隙の差、そしてそれに伴う吸水率による強度の低下によると考えられる。電気炉酸化スラグ骨材においては天然骨材と同等な強度が得られている。

一般に要求されるポーラスコンクリートの設計基準強度は、植生を重視する場合 10MPa~18MPa、強度を重視する場合 18MPa 以上が要求されるので、解体骨材を使用したポーラスコンクリートを適用するには、更に解体骨材の付着モルタルを取るような改善が必要である。

3-4 ポーラスコンクリートの静弾性係数測定結果

解体骨材・再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材使用のポーラスコンクリートの静弾性係数測定結果を図 5 に示す。図 5 では、再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材は全空隙率の増加にともない静弾性係数が徐々に小さくなり、全空隙率と静弾性係数には相関性が認められる。しかし、解体骨材で

は全空隙率 25%ですすでに静弾性係数は著しく低下し、その後の変化は少ない。このことは解体骨材・再生骨材の破碎値が天然骨材約 9%に比べ約 24%と大きいためである。また再生骨材混合率 30%、再生骨材混合率 60%における混合率の相違による差はみられない。

3-5 植物生育試験結果

解体骨材・再生骨材・電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材使用のポーラスコンクリートの植物生育試験結果を図 6、図 7 に示す。両図には植物生育試験開始から 8 週間目までのケンタッキーブルーグラス、ホワイトクローバーの草丈を示している。図 6 の表土 20 mm の場合は 5 週目から生育が止まっているが、これは気温の低下によるものである。図 7 の表土なしの場合では、ケンタッキーブルーグラスの生育に解体骨材と培養土の違いによって約 95mm の差がみられた。ホワイトクローバーでは、使用骨材の種類には差はなかったが、培養土による比較では約 45 mm の差が生じた。このことはポーラスコンクリートの空隙中に入っている充填材の差といえる。発芽率はケンタッキーブルーグラス約 75%、ホワイトクローバー約 80%であった。

3-6 ポーラスコンクリート断面の観察結果

解体骨材使用のポーラスコンクリートの断面観察結果を写真 2~5 に示す。各写真はそれぞれ供試体をダイヤモンドカッターで切断して、骨材の状況を観察したものである。解体骨材は 4 種類に分類できる。写真 2 は幾つかの原骨材とモルタルで構成されており、写真 3 はモルタルのみで構成されているもの、写真 4 は骨材の周りに薄くモルタルがついているもの、写真 5 は周りのモルタル分がとれて原骨材のみで構成されているものである。解体骨材についてはほとんどの場合が写真 2 と写真 3 の状態である。

骨材とセメントペーストの付着状態は供試体上部と下部のペースト厚さを比較することによった。どの供試体もペーストの厚さは約 1mm~2mm であるため、上部下部共に違いは認められなかった。特にペーストに流動性がありすぎると下部に溜まり、流動性がないと骨材に均一に付着せずに強度が出ないという難しさがあった。

写真 6 では、空隙率が大きくなるほど空隙の寸法が大きくなっている。ただし、骨材の種類によって空隙の大きさに違いは見られない。

写真 7 は昨年行ったものであり、植物生育用コンクリートを切断し根の進入状況を観察したものである。表土を約 20mm とした場合のポーラスコンクリート空隙中には根が約 15mm 進入していた。写真 8 は今年度行ったもので、表土をなくした場合である。これはコンクリート内部に根が約 55mm 進入していた。この場合はコンクリート内部の空隙にいれる充填材の種類と詰め方が重要である。

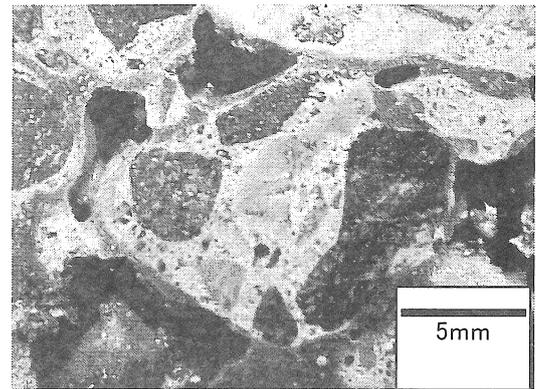


写真 2 幾つかの原骨材とモルタル

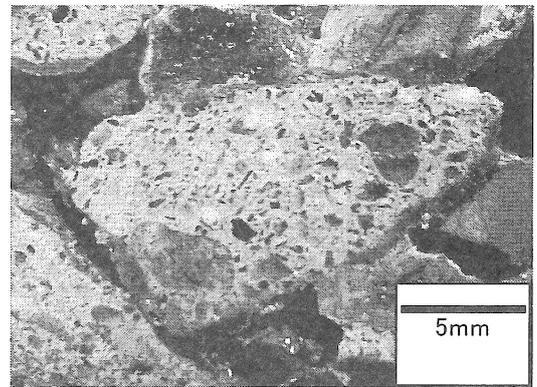


写真 3 モルタルのみ

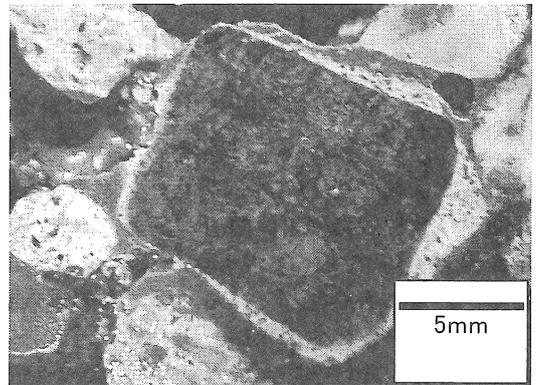


写真 4 原骨材と薄くついたモルタル

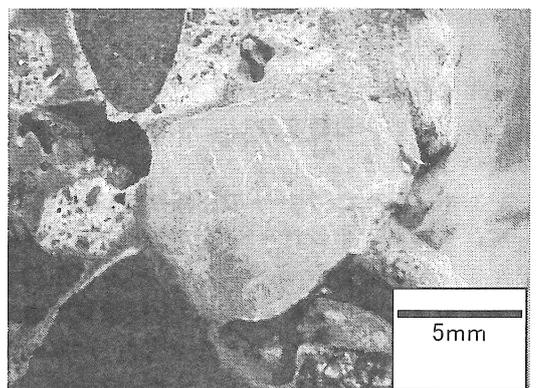


写真 5 原骨材のみ

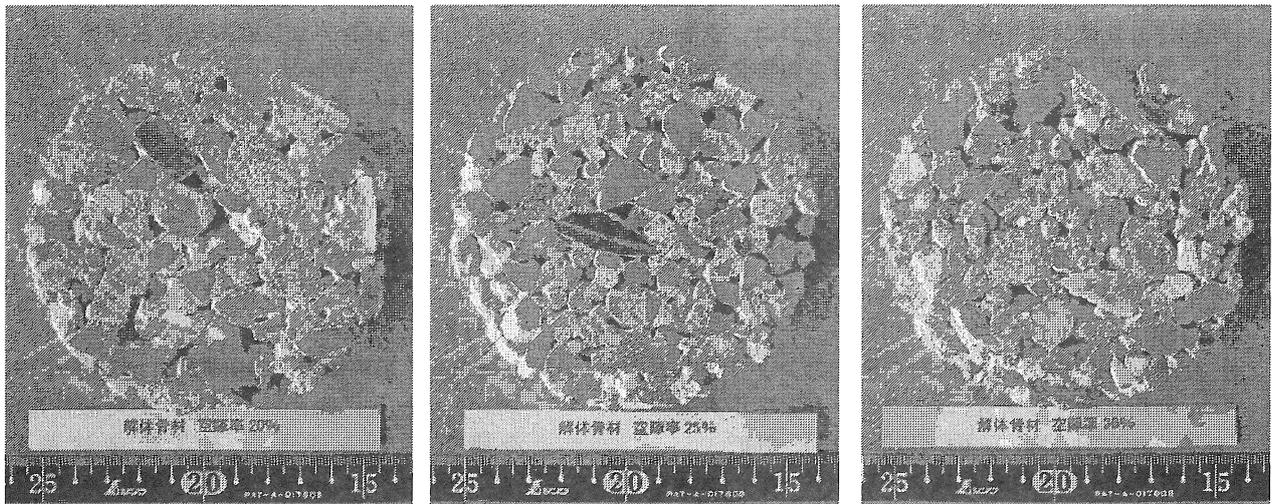


写真6 解体骨材断面(左から20%、25%、30%)

4. まとめ

解体骨材、再生骨材、電気炉酸化スラグ骨材および天然骨材を用いたポーラスコンクリートの性状と植物の生育特性をまとめると、以下のようである。

- (1) 配合を選定したことによって、ほとんど全てを連続空隙とするコンクリートの作製が可能であった。選定した配合は表2のとおりであるが、その概要は W/C30%一定で水量は約 $105\sim 60\text{kg/m}^3$ 程度のものである。
- (2) 同一空隙率の解体骨材使用ポーラスコンクリートの圧縮強度、静弾性係数は、天然骨材を用いた場合よりも約 52~70%小さくなった。再生骨材についても約 14~35%小さくなった。
- (3) 天然骨材、電気炉酸化スラグ骨材、再生骨材混合率 30%、再生骨材混合率 60%には全空隙率と圧縮強度・静弾性係数に高い相関性が認められたが、解体骨材と再生骨材には認められなかった。
- (4) ポーラスコンクリートと培養土と比較すると表土なしの場合、ケンタッキーブルーグラスでは約 58%、ホワイトクローバーでは約 41%の差がみられた。また、表土 20 mm の場合、使用骨材による差はみられなかった。
- (5) 根は 4 種の骨材全てにおいてポーラスコンクリートの空隙に十分進入しており、緑化コンクリートに利用可能であると思われた。
- (6) 解体骨材の特徴を分類すると①幾つかの原骨材とモルタル、②モルタルのみ、③原骨材の周りに薄くモルタルが付着、④原骨材のみに分けられた。解体骨材中の多くは①と②であり、粒径が小さくなるほどこれらの割合は大きくなった。

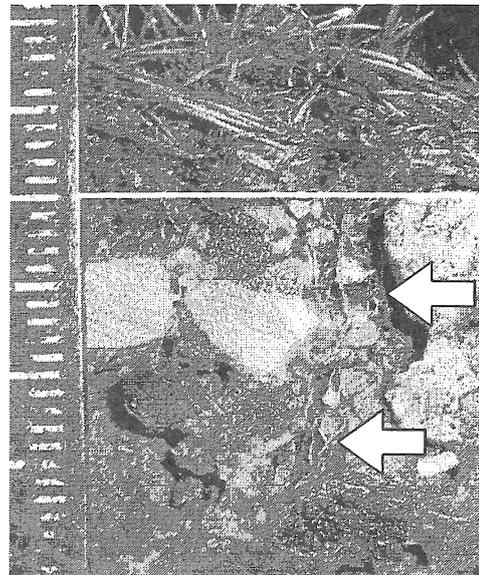


写真7 根の進入状況(表土:20mm)

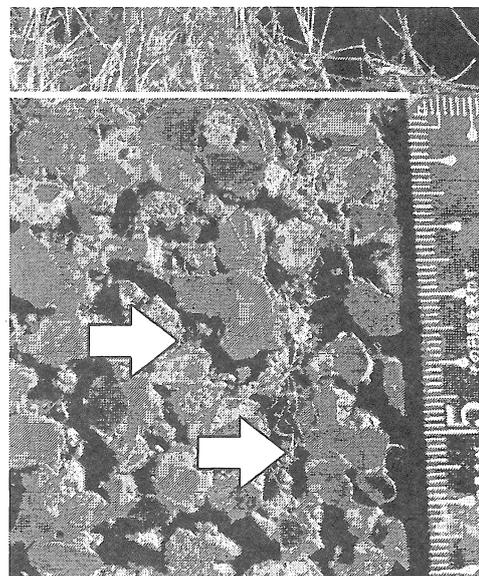


写真8 根の進入状況(表土:なし)

参考文献

- 1) (社)エココンクリート工学協会、エココンクリート委員会:エココンクリート委員会報告書、1995. 11
- 2) (財)先端建設技術センター:ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き、2001. 4
- 3) 黒田保、井上正一、吉野公、田中秀一:再生骨材の緑化コンクリートへの適応性、コンクリート工学年次論文報告書、vol. 21、pp. 181-186、No. 1、1999
- 4) 月岡存、牧和雅:再生骨材の緑化コンクリートへの利用に関する研究、コンクリート工学年次論文集、vol. 24、No. 1、pp. 1125-1130、2002
- 5) 玉井元治:地球環境とコンクリート-ポーラスコンクリートエココンクリートがはたす役割-、セメント・コンクリート No. 619、pp. 1-9、1998. 9
- 6) 森野奎二、岩月栄治、磯村保司:再生骨材を用いたポーラスコンクリートの諸性状、資源・素材学会春季大会講演集 2002 年(I)資源編、pp. 130-131、2002. 3
- 7) 磯村保司、森野奎二、岩月栄治:再生骨材のポーラスコンクリートへの利用、土木学会中部支部平成 13 年度研究発表会講演概要集、pp. 569-570、2002. 3
- 8) 音野琢也、国枝稔、古川浩司、六郷恵哲:低品質再生骨材を用いたポーラスコンクリートの力学特性、コンクリート工学年次論文集 vol. 24No. 1、pp. 1149-1154、2002
- 9) 黒石哲、湯浅幸久、畑中重光:再生骨材を使用したポーラスコンクリートに及ぼす骨材品質の影響、コンクリート工学年次論文集 vol. 22No. 2、pp. 1225-1230、2001
- 10) 田中博一、上野久、中野慎一、栗田守朗:場所打ちコンクリートの河川護岸への影響、コンクリート工学年次論文集 vol. 22No. 2、pp. 1231-1236、2001
- 11) 吉森和人、藤原浩巳、伊藤修一、岡本亨久、山下善秀:ポーラスコンクリートの強度と耐久性に関する研究、セメント・コンクリート論文集 NO. 49、pp. 650-655、1995
- 12) 玉井元治、杉野守、芦田馨:緑化コンクリートの研究、セメント・コンクリート論文集 NO. 48、pp. 672-677、1994
- 13) 越健、島崎馨、国枝稔、六郷恵哲:ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価、コンクリート工学年次論文集 vol. 21No. 1、pp. 259-264、1999
- 14) 田中博一、今井実:緑化コンクリートの強度特性、コンクリート工学年次論文集 vol. 21No. 1、pp. 283-288、1999
- 15) 柳橋邦生、米澤敏男、山田敏昭、足立憲彦:緑化コンクリートに成育した植物の耐乾燥性に関する研究、コンクリート工学年次論文集 vol. 19No. 1、pp. 1039-1044、1997
- 16) 大友武臣、丸山久一、清水敬二:透水性コンクリートの開発に関する研究、セメント・コンクリート論文集 No. 45、pp. 660-665、1991
- 17) Abderrazak Zouaghi, Moriaki Kumagai, Takao Nakamura, Kunio Shindoh: USE OF POROUS CONCRETE AS ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIAL, 2001 Second International Conference on Engineering Materials VOLUME II, pp. 331-342
- 18) Motoharu Tamei, Munehisa Yoshida: USING POROUS CONCRETE FOR REGENERATING KELP FORESTS IN SEA TO RAISE BIODIVERSITY IN COASTAL AREAS, USE OF POROUS CONCRETE AS ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIAL, 2001 Second International Conference on Engineering Materials VOLUME II, pp. 343-352
- 19) Nario Shinnishi, Takako Nakazawa, Fujio Imai, Rihong Zhang, Kazumitsu Kanemaru: APPLICATION OF POROUS CONCRETE TO PURIFICATION OF WATER QUALITY, USE OF POROUS CONCRETE AS ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIAL, 2001 Second International Conference on Engineering Materials VOLUME II, pp. 353-360
- 20) Minoru Kunieda, Takeshi Koshi, Toshiro Kamada, Keitetsu Rokugo: SCALE EFFECT ON CHARACTERISTICS OF VOID DISTRIBUTION IN POROUS CONCRETE SPECIMENS, USE OF POROUS CONCRETE AS ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIAL, 2001 Second International Conference on Engineering Materials VOLUME II, pp. 361-368

(受理 平成15年 3月19日)