

電気炉酸化スラグ骨材を用いたポーラスコンクリートに関する研究

A Study on Porous Concrete Using Electric Arc Furnace Oxidizing Slag Aggregate

松尾嘉仁†, 森野奎二††, 岩月栄治††
Yoshihito MATSUO, Keiji MORINO, Eiji IWATSUKI

Abstract: The porous concrete (POC), which is environmentally friendly concrete, using electric arc furnace oxidizing slag (EFS) aggregate was made in this paper. EFS aggregate was established as JIS A 5011-4 [Slag aggregate for concrete-Part 4: Electric arc furnace oxidizing slag aggregate], and recommendations for design and construction of concrete structures using EFS aggregate was also published by Japan Society of Civil Engineers in 2003. EFS concrete was compared with porous concrete using the natural sandstone crushed stone. The designed void ratios and continuous void ratios of POC were similarity most, and continuous void ratios were adjusted at 20, 25 and 30%. POC using EFS aggregate showed void ratios and coefficients of water permeability which were sufficient as well as POC using sandstone crushed stone. There was no difference on compressive strength and flexural strength of POC between RFS aggregate and sandstone crushed stone

1. はじめに

近年、コンクリートに対して資源の有効利用や自然環境との調和が求められている。これに呼応するようにコンクリート材料に広がりが見られ、例えば、製鋼業の副産物として発生する電気炉酸化スラグ骨材が2003年6月にJIS化され、その施工指針(土木学会)も示されている¹⁾²⁾。また、都市ごみ焼却灰を主原料とし下水汚泥等の廃棄物を原料としたエコセメントが2002年7月にJIS化されている。

環境との調和に配慮したコンクリートとしては、河川の護岸工事などにおいて、緑化、水質浄化、生物のすみかとしての機能も有するポーラスコンクリートが各所に施工されるようになった。道路工事においては排水性、透水性舗装といった舗装用のポーラスコンクリートが施工されるようになった。ポーラスコンクリート用の骨材として、天然骨材の他に資源の有効利用の面から再生骨材も使用されている。護岸利用や舗装用のポーラスコンクリートなど使用目的に応じて、骨材粒径やコンクリートの空隙率が異なる。例えば、護岸利用の場合は空隙率

が18%~36%程度と大きいため、強度は最大でも20N/mm²程度である。電気炉酸化スラグ骨材は硬度があり、骨材表面が粗であるためペーストの付着が良いと考えられるので、ポーラスコンクリート用骨材として有効に活用できるものと期待される。

そこで本研究では、電気炉酸化スラグ骨材をポーラスコンクリートへの活用について検討することとした。実験では、骨材粒径5~15mmの電気炉酸化スラグ骨材及び比較のために普通骨材の砂岩砕石を用い、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た。結合材としては、普通ポルトランドセメントの他にエコセメント³⁾⁴⁾⁵⁾・高炉水砕スラグ微粉末を用いる試みも行った。

2. 電気炉酸化スラグ骨材の諸性質

電気炉酸化スラグ骨材の特徴を活かして試験施工された実構造物について調査した結果について述べる。

2.1 硬度の高いことを活かした用途

2.1.1 舗装コンクリートへの適用

鋼片運搬用トレーラーなど総重量50t以上の重車両が通行する工場内交差点を天然骨材のみ用いたコンクリートと、天然骨材に急冷スラグ細骨材を60%混合させた厚

† 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)

さ25cmのコンクリートが並列して1992年に施工された⁶⁾。コンクリート打設後1年及び3年経過時に、急冷スラグ混合コンクリート、比較用の天然骨材コンクリートからそれぞれコアが採取された。採取コアのコンクリートの表面側から約3cm位までを中性化深さ測定用試片とし、残りの部分を切断、研磨しφ10×20cm供試体として圧縮強度試験が行われた。圧縮強度は急冷スラグ混合コンクリートについては、打設から3年経過後においても強度の伸びがみられ、また、中性化深さについては、天然骨材、スラグ骨材使用コンクリートの両者ともほぼ同じ位の値であり同等であるといえる。重車両が頻りに走行したにもかかわらず、スラグ骨材使用のコンクリート表面には施工から12年経過後(1992年10月～2005年1月)も異常は認められなかった。

2・2 耐久性を検討した用途

2・2・1 産業廃棄物養生層

急冷スラグ細骨材使用コンクリート(急冷スラグ60%、天然40%)によって施工された産業廃棄物養生層(薬剤処理)が1993年に施工された⁶⁾。施工から2年経過後、壁に対して垂直方向にコアが採取され、圧縮強度、ヤング係数、中性化深さ及び外観目視観察が行われた。圧縮強度は材齢28日までは $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 標準水中養生、材齢2年では気中養生のコア供試体であるが強度低下はみられず問題はないこと、ヤング係数は実測値が $2.80 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ となりいずれも問題のない結果であった。中性化深さは、薬剤処理材との接触面側から測定された。コアの採取位置によって中性化深さに差があるが、これは薬剤(硫酸、硫化ソーダなど)による反応生成ガスの影響によるものであり、骨材の膨張によるひび割れ、ポップアウト等の異常はみられなかった。これらの結果より施工から2,3,6年経過後の時点ではコンクリートの耐久性上での問題は認められなかった。

2・2・2 加熱炉基礎

加熱炉基礎は、鋼片加熱炉の基礎として急冷スラグ細骨材を60%混合で1993年に打設されたコンクリートである⁶⁾。加熱炉は、液化石油ガスバーナー焚きで炭酸ガス濃度と雰囲気温度が高いため、中性化や骨材劣化の促進試験的な意味あいも含まれるものである。打設後1年及び2年経過時にコア供試体が地下5.4mの機械保全用通路から採取された。コア供試体のヤング係数は、材齢1年と2年でほぼ同じであったが、28日強度より低いものであった。この原因として材齢28日の供試体が水中養生であるのに対し、材齢1年及び2年の供試体は温度が高い屋内の気乾状態のコア供試体であるためと判断された。また、中性化深さに差が生じていたが、この原因は、加熱炉の構造及び操作条件により雰囲気炭酸ガス濃度及びコンクリート温度に差があったためである。15分間隔で炭酸ガス濃度及びコンクリート温度が測定され、(冬期の日中3時間の測定結果のみ)それぞれ492

～436ppm、15～23°Cであった。この時の外気の炭酸ガス濃度平均値は395ppm、外気温平均値は9°Cであり、強風下での測定であったためかなりの差がでており無風時の夏期には高濃度かつ高温であろうと推測された。材齢1年から2年の間に中性化に大きな差が生じたのは、加熱炉の作業時間が材齢1年に比べ材齢1年から2年が約5倍あったことに原因があるとされた。コンクリートコアの観察でも構造物の外観観察同様ひび割れ、変色などの異常はみられなかった。施工から1,2,3,6年経過時点での調査ではあったが、構造物の設置環境からみて、かなり長期間後の調査に匹敵するものではないかとも思われる。

2・3 電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの耐海水性試験

コンクリート耐海水性試験に用いたスラグ骨材は、細骨材に急冷スラグ、粗骨材に改質スラグ、比較用コンクリートには長良川川砂、砂岩砕石が用いられた。配合は一般的に消波コンクリートブロックに使われているものであった。コンクリート供試体は、ステンレス製の枠に固定し、三重県の和具漁港内にある三角中空ブロックにそのステンレス製枠を固定して1995年に暴露された⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。外観観察では、川砂とスラグの両者共に材齢1,3,5,9年経過後において磨耗や亀裂などの損傷はみられなかった。また内部の顕微鏡観察でも異常はみられなかった。天然骨材よりもスラグ骨材を用いた方が曲げ強度とヤング係数が大きかった。

3. ポーラスコンクリートの諸性質

ポーラスコンクリート用骨材として使用するための骨材の品質基準や特徴について述べ、また、一般的な骨材を用いたポーラスコンクリートの適用例を示し、電気炉酸化スラグ骨材の適用の可能性について検討した。

3・1 ポーラスコンクリート用骨材の品質基準と特徴

粗骨材：粗骨材最大寸法は目安として河川護岸用では20mm、車道舗装用では13mm、歩道用では5mm程度が多く、単一粒度での使用が多い。

細骨材：細骨材を使用しない配合と細骨材を使用する配合がある。使用する場合も粗骨材の1/10程度である。また、粒子径の小さな細目砂を使用する場合もある。

3・2 一般的な骨材を用いたポーラスコンクリートの適用例

3・2・1 河川護岸

ポーラスコンクリートの植生基盤としての適用は、特に河川護岸で進められている。ポーラスコンクリートは、空隙率21%以上で用いられる事例が多く、保水性材料の空隙部への充填や表層への覆土が行われている事例もあ

る。植物に芝が使われていることが多いが、芝の根はポーラスコンクリートの空隙内へ伸張しやすく、河川増水時に芝や表層の覆土に流されにくいことと、その後の植生の回復が比較的早いというメリットがある。

3・2・2 ポーラスコンクリート舗装

建物外構や歩道・軽交通路では透水性機能として、中・重交通路では排水性機能としての適用が多い。重交通路線の料金所では、車輛の発進・停止の繰返しに対応するため、耐磨耗性・耐油性とともに排水機能を有するものとして適用されている。実施工においては、広場、駐車場、県道、有料道路の料金所などで行われている。

4. 実験方法

4・1 実験の概要

骨材粒径 5~15mm の電気炉酸化スラグ骨材及び比較のために天然骨材（砂岩砕石）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

表 1 使用材料

使用材料	種類	物理的性質または成分					
		純乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	F.M.	単位容積 (kg/l)	実積率 (%)	
粗骨材	電気炉酸化スラグ骨材	3.57	0.80	6.51	1.98	55.5	
	天然骨材(砂岩砕石)	2.64	0.75	6.54	1.51	57.3	
		密度 (g/cm ³)			比表面積 (cm ² /g)		
結合材	セメント	普通形エコセメント			3.17		4240
		普通ポルトランドセメント			3.15		3420
	混和材	高炉水砕スラグ微粉末			2.88		4100
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系高分子界面活性剤					

後、全空隙率・連続空隙率試験、圧縮強度試験、曲げ強度試験、透水試験、断面観察を行った。

4・2 使用材料

使用材料を表 1 に示す。骨材粒径 5~15mm の電気炉酸化スラグ骨材及び比較のために天然骨材（砂岩砕石：愛知県春日井産）を使用した。結合材として、セメントは普通ポルトランドセメントと普通形エコセメントを使用し、それぞれのセメントに高炉水砕スラグ微粉末を置換率 0, 30, 50, 70%で使用した。混和剤には、高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸系高分子界面活性剤）を使用した。また、骨材の物理的性質は電気炉酸化スラグは天然骨材より純乾密度が高く、吸水率が同程度である。エコセメントは普通ポルトランドセメントより比表面積は約 800cm²/g 高い。

4・3 示方配合

ポーラスコンクリートの配合を表 2 に示す。ポーラスコンクリートの配合は水結合材比を 30%一定とし、骨材は粗骨材のみを使用した。目標空隙率（全空隙率）20, 25, 30%の順に単位水量を 105, 85, 65kg/m³とした。骨材粒度は、粒径 5~10mm と 10~15mm の割合を 1 : 1 とした。

4・4 供試体作製方法

ポーラスコンクリートの供試体は、φ10×20cm の円柱供試体と 10×10×40cm の角柱供試体を用いた。ポーラス

表 2 ポーラスコンクリートの配合

結合材		骨材	目標空隙率 (%)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水剤 (ml/m ³)
セメント	高炉水砕スラグ微粉末置換率 (%)				水	エコ・普ボ	高炉水砕スラグ微粉末	5mm ~ 10mm	10mm ~ 15mm	
エコ	電気炉酸化スラグ	20	30	105	350	0	1043	1043	700	
		25		85	283	0	1027	1027	567	
		30		65	217	0	1011	1011	433	
	砂岩砕石	20		105	350	0	772	772	700	
		25		85	283	0	760	760	567	
		30		65	217	0	748	748	433	
普通ポルトランド	電気炉酸化スラグ	20	30	105	350	0	1042	1042	700	
		25		85	283	0	1026	1026	567	
		30		65	217	0	1011	1011	433	
	砂岩砕石	20		105	350	0	771	771	700	
		25		85	283	0	759	759	567	
		30		65	217	0	747	747	433	

結合材		骨材	目標空隙率 (%)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水剤 (ml/m ³)
セメント	高炉水砕スラグ微粉末置換率 (%)				水	エコ・普ボ	高炉水砕スラグ微粉末	5mm ~ 10mm	10mm ~ 15mm	
エコ	電気炉酸化スラグ	20	30	105	175	175	1034	1034	700	
		25		85	142	142	1019	1019	567	
		30		65	108	108	1005	1005	433	
	砂岩砕石	20		105	175	175	764	764	700	
		25		85	142	142	754	754	567	
		30		65	108	108	743	743	433	
普通ポルトランド	電気炉酸化スラグ	20	30	105	175	175	1033	1033	700	
		25		85	142	142	1019	1019	567	
		30		65	108	108	1005	1005	433	
	砂岩砕石	20		105	175	175	764	764	700	
		25		85	142	142	754	754	567	
		30		65	108	108	743	743	433	

結合材		骨材	目標空隙率 (%)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水剤 (ml/m ³)
セメント	高炉水砕スラグ微粉末置換率 (%)				水	エコ・普ボ	高炉水砕スラグ微粉末	5mm ~ 10mm	10mm ~ 15mm	
エコ	電気炉酸化スラグ	20	30	105	245	105	1038	1038	700	
		25		85	198	85	1023	1023	567	
		30		65	152	65	1008	1008	433	
	砂岩砕石	20		105	245	105	767	767	700	
		25		85	198	85	756	756	567	
		30		65	152	65	745	745	433	
普通ポルトランド	電気炉酸化スラグ	20	30	105	245	105	1037	1037	700	
		25		85	198	85	1022	1022	567	
		30		65	152	65	1007	1007	433	
	砂岩砕石	20		105	245	105	767	767	700	
		25		85	198	85	756	756	567	
		30		65	152	65	745	745	433	

結合材		骨材	目標空隙率 (%)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水剤 (ml/m ³)
セメント	高炉水砕スラグ微粉末置換率 (%)				水	エコ・普ボ	高炉水砕スラグ微粉末	5mm ~ 10mm	10mm ~ 15mm	
エコ	電気炉酸化スラグ	20	30	105	105	245	1030	1030	700	
		25		85	85	198	1016	1016	567	
		30		65	65	152	1003	1003	433	
	砂岩砕石	20		105	105	245	761	761	700	
		25		85	85	198	752	752	567	
		30		65	65	152	742	742	433	
普通ポルトランド	電気炉酸化スラグ	20	30	105	105	245	1029	1029	700	
		25		85	85	198	1016	1016	567	
		30		65	65	152	1003	1003	433	
	砂岩砕石	20		105	105	245	761	761	700	
		25		85	85	198	751	751	567	
		30		65	65	152	741	741	433	

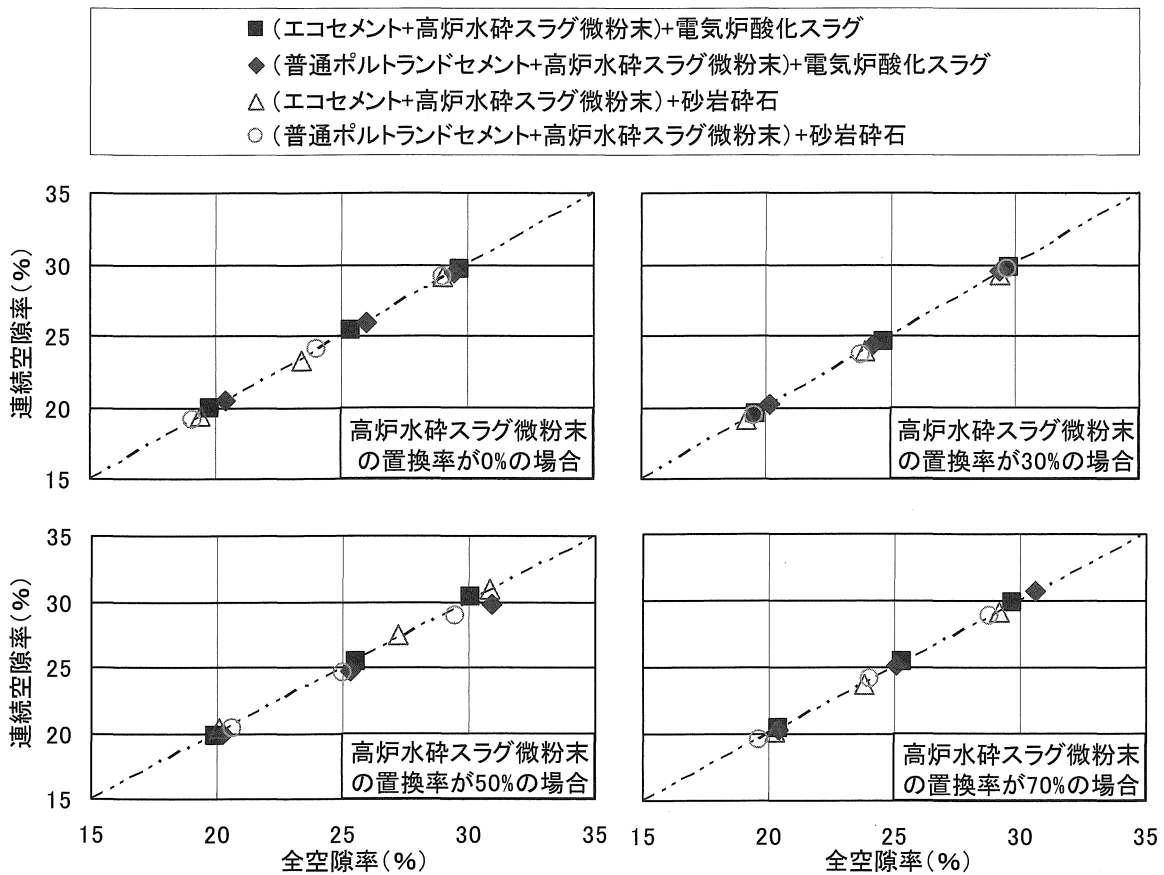


図 1 ポーラスコンクリートの全空隙率と連続空隙率の関係

コンクリートの練混ぜは、先にセメントペーストのみを作製（エコセメントまたは普通ポルトランドセメントと高炉水砕スラグ微粉末を約 15 秒間空練りした後、水と高性能 AE 減水剤を加え約 100 秒間練り混ぜる）した。それを強制練りミキサで約 30 秒間空練りした粗骨材に加え、更に約 3 分間練り混ぜた。円柱供試体の作製は 4cm 厚さに分けて詰め、目標空隙率 20, 25, 30% に対して各々 23, 18, 13 回突き、角柱供試体に対しては目標空隙率 20, 25, 30% で 115, 90, 65 回突いた。養生は、20±1℃水中で 28 日間とした。

4.5 ポーラスコンクリートの全空隙率・連続空隙率試験方法

ポーラスコンクリートの全空隙率・連続空隙率試験は、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・施工法に関する研究委員会報告書「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)」¹¹⁾によって行った。なお、容積法と重量法があり、本研究では容積法とした。

4.6 ポーラスコンクリートの圧縮強度試験方法

ポーラスコンクリートの圧縮強度試験は、コンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108) によって行い、ポーラスコンクリートの円柱供試体は端面に凹凸があるため、

JIS A 1132 の 4.4 によって両端面キャッピングを行った。

4.7 ポーラスコンクリートの曲げ強度試験方法

ポーラスコンクリートの曲げ強度試験は、コンクリートの曲げ強度試験方法 (JIS A 1106) によって行い、載荷方法は三等分点載荷とした。なお、角柱供試体の載荷箇所にはセメントペーストを塗り付けて表面を平滑にした。

4.8 ポーラスコンクリートの透水試験方法

透水試験は、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・施工法に関する研究委員会報告書「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)」¹¹⁾によって行った。定水位試験装置を図 2 に示す。なお、透水試験における水頭差は 6cm とした。

4.9 ポーラスコンクリートの断面観察方法

円柱供試体をダイヤモンドカッターで切断し、電気炉酸化スラグ骨材・天然骨材（砂岩砕石）の構成状態、骨材とセメントペーストの付着状態、空隙の状態、骨材の詰まり方等を観察し、デジタルカメラを用いて記録した。

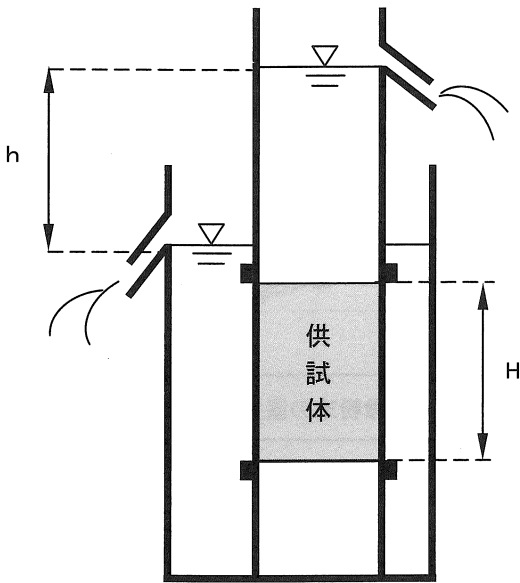


図2 定水位試験装置

ンクリートの全空隙率・連続空隙率測定結果を図1に示す。図より、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両骨共に高い相関関係が認められる。

5・2 ポーラスコンクリートの全空隙率と圧縮強度の関係

電気炉酸化スラグ骨材を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度を図3に示す。図より、それぞれ電気炉酸化スラグと砂岩碎石と比較すると、両骨材に差がなく、空隙率20%で20 N/mm²前後、空隙率25%で15 N/mm²前後、空隙率30%では両骨材間に差がみられる場合があるものの全体的に差はなく、10 N/mm²前後となっている。エコセメント、普通ポルトランドセメントの両者に大差はみられなかった。ポーラスコンクリートを護岸に用いるときの必要強度10.0 N/mm²は、25%の空隙で満たすことができるが、高い強度を必要とする18.0 N/mm²以上を満たすには、空隙率を20%にする必要がある

5. 結果及び考察

5・1 ポーラスコンクリートの全空隙率と連続空隙率の関係

電気炉酸化スラグ骨材及び砂岩碎石使用のポーラスコ

5・3 ポーラスコンクリートの全空隙率と曲げ強度の関係

電気炉酸化スラグ骨材を用いたポーラスコンクリートの曲げ強度を図4に示す。図の電気炉酸化スラグと砂岩碎石を比較すると、圧縮強度と同様に両骨材間に差は

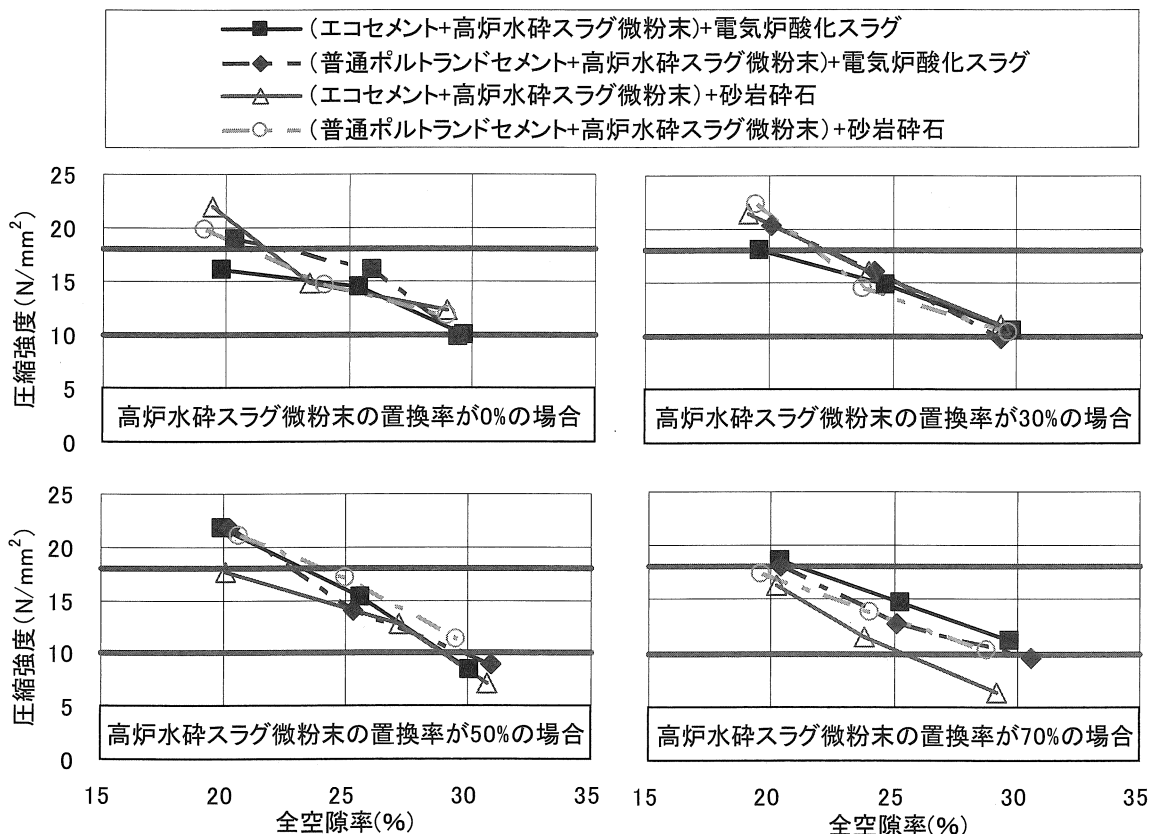


図3 ポーラスコンクリートの全空隙率と圧縮強度の関係

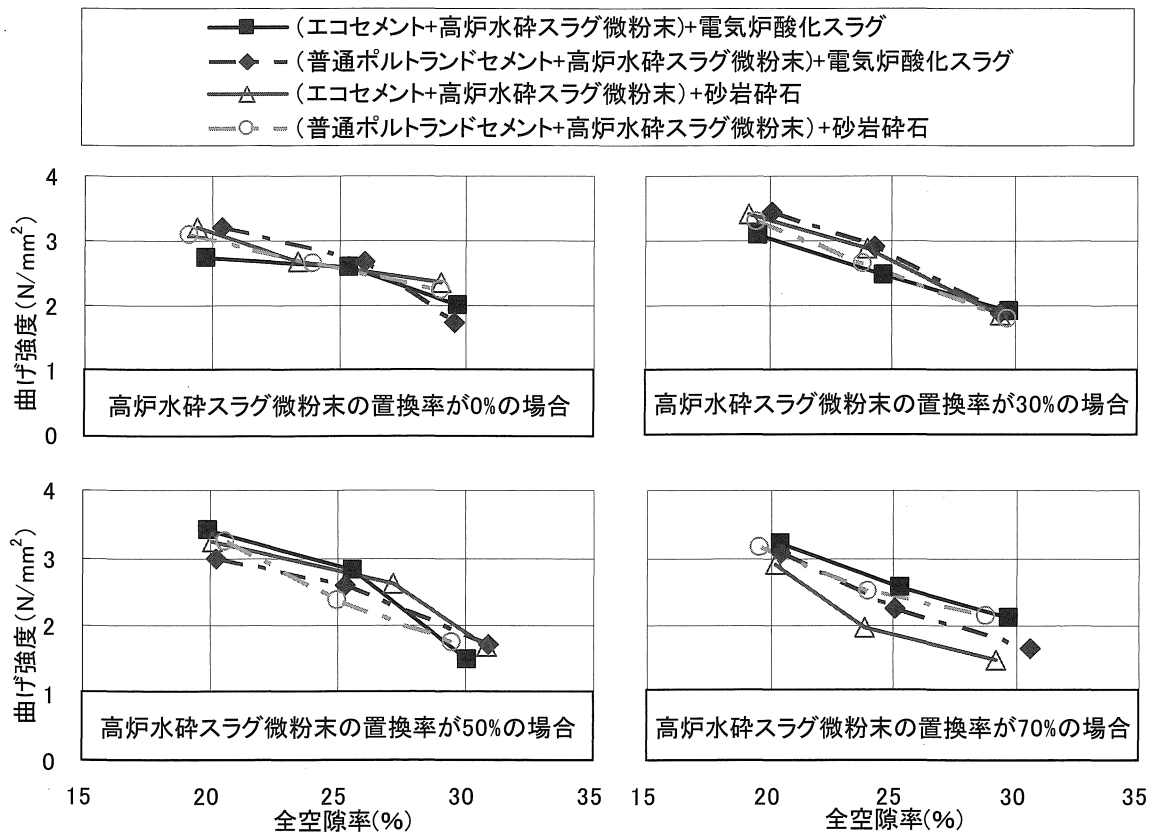


図4 ポーラスコンクリートの全空隙率と曲げ強度の関係

みられない。電気炉酸化スラグの表面組織には凹凸があるので電気炉酸化スラグの方が高い曲げ強度が得られると予想していたが、今回の実験でのポーラスコンクリートにおいてはその特徴が現われなかった。

5.4 ポーラスコンクリートの連続空隙率と透水係数の関係

電気炉酸化スラグを用いたポーラスコンクリートの連続空隙率と透水係数の関係を図5に示す。図より、連続空隙率が20%の時には透水係数が2.0cm/s、同様に25%の時には3.0cm/s、30%の時には4.0cm/sと電気炉酸化スラグ、砂岩砕石共に同じ結果が得られた。また、植生基盤を目的とした実施工のポーラスコンクリートにおいて要求される値と同じことから透水係数は十分であるといえる。なお一般的な透水係数は、土壌で 10^{-6} cm/s以上、普通コンクリートで 10^{-6} cm/s未満、ポーラスコンクリートは0.3~12cm/sである⁹⁾。

5.5 ポーラスコンクリートの断面観察

電気炉酸化スラグと砂岩砕石を用いたポーラスコンクリートの断面観察の結果を写真1~4に示す。各写真はそれぞれポーラスコンクリートの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。各写真は、結合材が普通ポルトランドセメントと高炉水

砕スラグ微粉末(置換率50%のものに抜粋)の結果である。骨材の構成、骨材とセメントペーストの付着状態、空隙の状態、骨材の詰まり方については、ポーラスコンクリート供試体上部と下部を比較することにより考察した。写真より、空隙率が大きくなるほど空隙が大きくなっているのが目視できる。電気炉酸化スラグ骨材の方が骨材表面の凹凸や密度が大きいため砂岩砕石に比べると練混ぜの時に流動性がないように思われたが、電気炉酸化スラグのどの供試体もほぼ均等に骨材が詰まっており、付着も良く行われている。また、ポーラスコンクリート供試体下部に分離したペーストが溜まるような状態もみられなかった。

6. 結論

電気炉酸化スラグ骨材及び砂岩砕石を使用したポーラスコンクリートの研究結果をまとめると以下のようである。

- (1) 電気炉酸化スラグ骨材を使用した実施工の調査例から電気炉酸化スラグ骨材は耐久性上問題なく、安定した骨材であるといえる。
- (2) 強度においても、電気炉酸化スラグ骨材と砂岩砕石の両者において差はあまりみられなく、電気炉

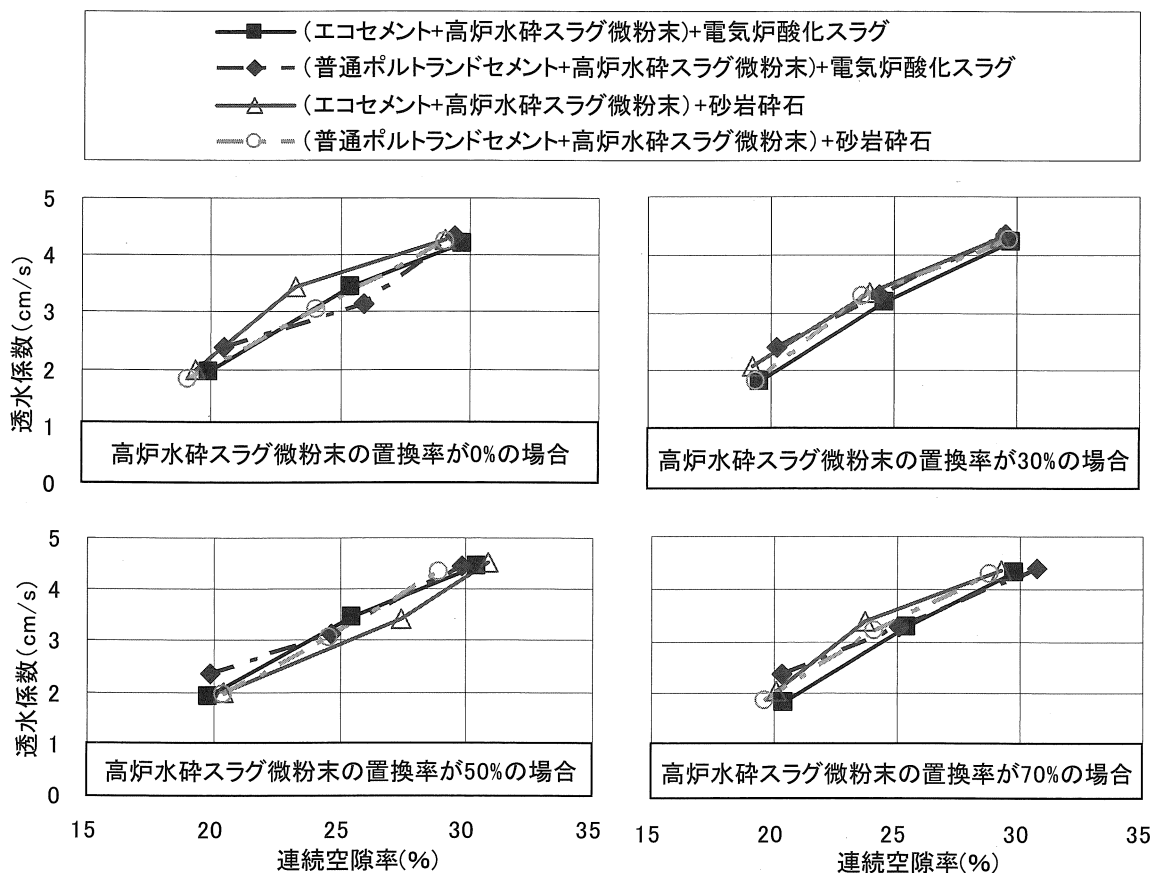
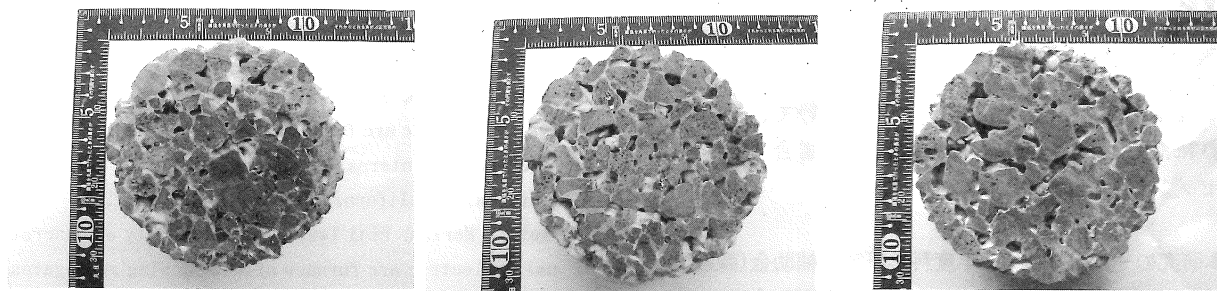


図5 ポーラスコンクリートの連続空隙率と透水係数の関係



空隙率 20%

空隙率 25%

空隙率 30%

写真1 ポーラスコンクリートの断面図 普通ポルトランドセメント+高炉水砕スラグ微粉末+電気炉酸化スラグ [上部]

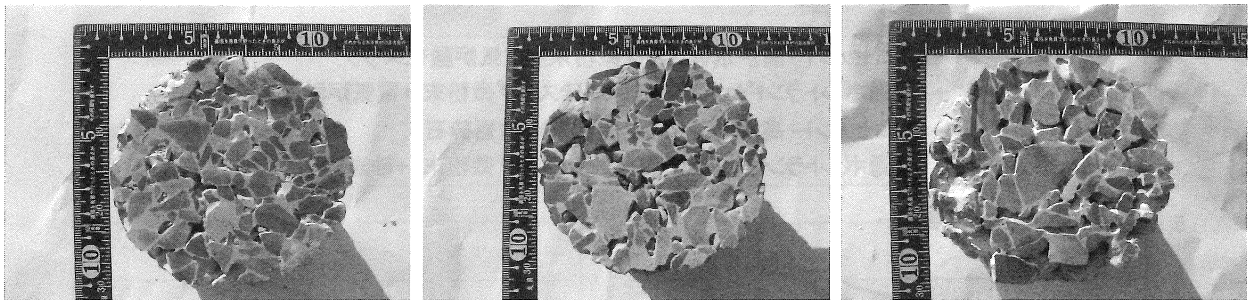


空隙率 20%

空隙率 25%

空隙率 30%

写真2 ポーラスコンクリートの断面図 普通ポルトランドセメント+高炉水砕スラグ微粉末+電気炉酸化スラグ [下部]

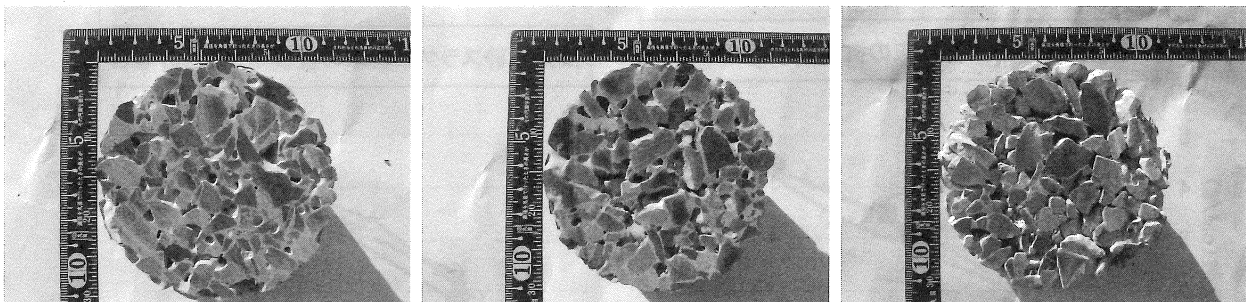


空隙率 20%

空隙率 25%

空隙率 30%

写真 3 ポーラスコンクリートの断面図 普通ポルトランドセメント+高炉水砕スラグ微粉末+砂岩砕石〔上部〕



空隙率 20%

空隙率 25%

空隙率 30%

写真 4 ポーラスコンクリートの断面図 普通ポルトランドセメント+高炉水砕スラグ微粉末+砂岩砕石〔下部〕

酸化スラグ骨材は砂岩砕石と同様にポーラスコンクリート用の骨材として使用できる。

- (3) ポーラスコンクリートの空隙率は、電気炉酸化スラグにおいても必要な空隙や透水係数を満たしていた。
- (4) ポーラスコンクリートの結合材としてエコセメントと普通ポルトランドセメントを用いて、それぞれに高炉水砕スラグ粉末を置換した場合でも、両セメントに差はみられなかった。

謝辞: 本研究の一部は平成 16 年度科学研究費補助金(課題番号 16560402) によった。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)土木学会: 電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案)、2003.3
- 2) 鉄鋼スラグ協会: 鉄鋼スラグコンクリート骨材への利用、2004.3
- 3) 松尾嘉仁、森野奎二、岩月栄治: 電気炉酸化スラグ骨材を用いたポーラスコンクリートの強度性状、土木学会中部支部平成 15 年度研究発表会講演概要集、pp.517-518、2004.3
- 4) 松尾嘉仁、森野奎二、岩月栄治: ポーラスコンクリートへの電気炉酸化スラグ骨材の適用性、土木学会全国大会平成 16 年度研究発表会講演概要集 pp.475-476、2004.9
- 5) 深谷泰文、露木尚光: セメント・コンクリート材料科学、技術書院、2003.10
- 6) 森野奎二、淵上榮治、服部裕治: 電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの耐久性、コンクリート工学年次論文報告書、vol.18、No.1、pp.393-398、1996
- 7) 森野奎二、淵上榮治、服部裕治: 電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの耐海水性、コンクリート工学年次論文報告書、vol.19、No.1、pp.355-360、1997
- 8) Keiji Morino, Eiji Iwatsuki: Properties of concrete using electric arc furnace oxidizing slag aggregates, JSCE second international conference on engineering materials, California, USA, pp.269-280, 2001
- 9) Keiji Morino, Eiji Iwatsuki: Durability of concrete using electric arc furnace oxidizing slag aggregates, Global symposium on recycling, Waste treatment and clean technology, rewash' 99 volume. II, pp.213-222, 1999
- 10) Keiji Morino, Eiji Iwatsuki: Utilization of electric arc furnace oxidizing slag as concrete aggregate, Infrastructure regeneration and rehabilitation improving the quality of life through better construction, A Vision for the next millennium, Proceedings of international conference held at the university of Sheffield, pp.521-530, 1999
- 11) (社)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・施工法に関する研究委員会: ポーラスコンクリートの設計・施工法に関する研究委員会報告書、2003.5

(受理 平成 17 年 3 月 17 日)