

論文 緻密高炉スラグ粗骨材コンクリートの性能に関する基礎的研究

中西 克佳*1・王 蓓*2・田 恵太*3

要旨：従来の高炉徐冷スラグ粗骨材は、多孔質であるため、吸水率が高く、コンクリートの水分管理が困難になっている。これを解決するために、吸水率が天然骨材と同等の1%以下を満足する緻密化した高炉スラグ粗骨材製造技術を開発した。緻密化した高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートは、天然粗骨材を用いた場合と同等の施工性、強度、耐久性を保有する。また、鉄筋コンクリート部材の曲げ性能に関しても遜色ない。さらに、耐久性のうち乾燥収縮特性に関して、石灰石砕石を用いた場合と同等以上の性能を有している。

キーワード：高炉スラグ、緻密化、圧縮強度、耐久性、ヤング係数、乾燥収縮、RC梁曲げ試験

1. 緒言

鉄鋼スラグを原料にして製造されるコンクリート用骨材として JIS で規格化されているものには、高炉スラグ骨材と電気炉酸化スラグ骨材があり、それぞれに粗骨材と細骨材がある。このうち粗骨材は、高炉または電気炉から取り出された熔融スラグを徐冷し、粒度調整した骨材であり、現状、高強度コンクリートへの適用は認められていない。

近年の建物の高層化・大型化に伴い、増加する自重を十分に支えることが出来るよう、躯体コンクリートの高強度化が求められ、超高強度コンクリートが開発されてきた。しかしながら、100N/mm² 超級の超高強度コンクリートを扱うには、高強度用の骨材を保管するサイロが別途必要となることから、取り扱えるプラントは予備のサイロを保有しているプラントに限られている。

また、従来の高炉徐冷スラグ粗骨材は、多孔質であるため、吸水率が高く、水分管理が困難で、生コンクリートの施工性を損なう要因となっている。その結果、天然資源の開発抑制による環境保全や採掘時の使用エネルギー削減に貢献できるものの、大幅なコストメリットがない限り、スラグ粗骨材のコンクリートへの活用は敬遠されている。

そして、コンクリート業界における大きな課題として収縮ひび割れの発生抑制がある。これに対応して、各種の膨張剤や収縮低減剤等の混和剤が開発されているものの、他の性能を低下させる場合もあり得るため、混和剤の使用を抑える方法を探索することには意義がある¹⁾。

そこで、上述のような課題や社会的ニーズに応えるため、普通コンクリートから超高強度コンクリートまで幅広く使える高品質・高性能を目指し、低吸水率の緻密な高炉スラグ粗骨材を開発した。

本研究では、緻密高炉スラグ粗骨材の普通コンクリー

トおよび超高強度コンクリートへの適用性を評価する。本文では、配合試験、強度試験、各種耐久性試験、部材の曲げ載荷試験、および FEM 解析による分析を行い、緻密高炉スラグ粗骨材コンクリートの性能について評価・考察した。

2. 緻密高炉スラグ粗骨材の製造と品質

図-1 には、緻密高炉スラグ粗骨材²⁾の製造設備³⁾と外観を示す。緻密高炉スラグ粗骨材の製造手順は次の通りである⁴⁾。高炉スラグ鍋台車を、所定の位置にセットした後、一定速度で鍋を傾転させ、モールドに熔融スラグを注ぎ込む。目標スラグ凝固厚みは25mmであり、モールド上で120秒保持して中心部まで凝固させ、モールドを反転させて凝固スラグをスラグピットに落下させる。板状に凝固した高炉スラグをインパクトクラッシャーにより20mm以下の粒径に破碎して緻密高炉スラグ粗骨材とする。表-1 には、緻密高炉スラグ粗骨材の品質を、天然粗骨材と比較して示す。

表-1 より、緻密高炉スラグ粗骨材の吸水率は、同時

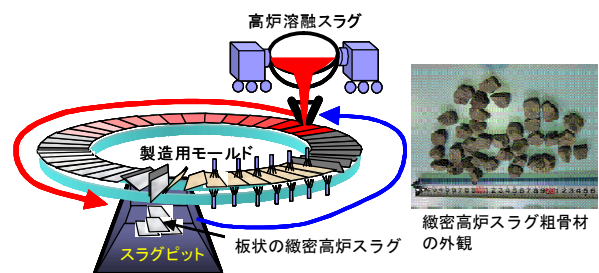


図-1 緻密高炉スラグ粗骨材の製造設備³⁾と外観

表-1 緻密高炉スラグ粗骨材の骨材試験結果

粗骨材の種類	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粒形判定実積率 (%)	破砕値 (%)
緻密高炉スラグ	2.84	0.66	62.4	13.8
石灰石砕石	2.70	0.52	63.1	22.4
硬質砂岩砕石	2.66	0.62	61.7	11.7

*1 JFE スチール株式会社 スチール研究所 土木・建築研究部 工博 (正会員)

*2 JFE スチール株式会社 スチール研究所 土木・建築研究部

*3 JFE スチール株式会社 スチール研究所 スラグ・耐火物研究部

に試験実施した硬質砂岩砕石 0.62%とほぼ同等の値であり、JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材」の4.0%以下およびJIS A 5005「コンクリート用砕石および砕砂」の3.0%以下の規定値を大幅に満足した。また、圧縮力に対する粗骨材の抵抗性を調べるため、英国の基準 BS812 part110 に従って破砕値試験を実施した結果、本粗骨材の破砕値は硬質砂岩砕石の約 11.7%に対し 2.1%大きい 13.8%であった。

粗骨材の圧縮強度およびヤング係数を確認するために、切断機と研磨機により 1:1:2(軸方向)に成形した長方体の試験体に対し圧縮試験を実施した。各粗骨材の圧縮強度およびヤング係数を、表-2 に示す。表-2 より、緻密高炉スラグ粗骨材の圧縮強度は、石灰石砕石の約 2 倍であり、硬質砂岩砕石よりも 26%上回ることが分かる。また、ヤング係数は、緻密高炉スラグ粗骨材が最も高く、次いで石灰石砕石、硬質砂岩砕石の順であった。

なお、本論文では、比較天然粗骨材として、津久見産の石灰石砕石および青梅産の硬質砂岩砕石を用いた。細骨材として、粗粒率 2.57 の大井川水系陸砂を用いた。

3. 緻密高炉スラグ粗骨材のコンクリートへの適用性

緻密高炉スラグ粗骨材のコンクリートへの適用性を把握するために、普通コンクリートと超高強度コンクリートのフレッシュ性状、強度発現性、および耐久性に関し、天然粗骨材との比較を行った。なお、各粗骨材は、JIS A 5005 の粒度範囲の中央値に調整して使用した。

3.1 普通コンクリート

普通コンクリートの配合条件は、標準配合を参考に、単位水量を 170kg/m³ に固定し、目標スランプ 18±1.5cm、目標空気量 4.5±0.5%、水セメント比を 3 水準(45%, 55%, 65%)とした。配合試験結果を表-3 に示す。

(1) フレッシュ性状

表-3 に示すように、緻密高炉スラグ粗骨材、石灰石砕石、硬質砂岩砕石とも水セメント比 45%~65%の範囲では、単位水量を一定にし、同量の混和剤(AE 減水剤および AE 剤)を使用した場合、所要のスランプおよび空気

量が得られており、良好なフレッシュ性状であった。

(2) 硬化コンクリートの強度

図-2 には、各配合のセメント水比と圧縮強度の関係を示す。図-2 より、3 種類の粗骨材を用いたコンクリートのセメント水比と圧縮強度との間には高い相関関係が認められる。緻密高炉スラグ粗骨材コンクリートの圧縮強度は、石灰石砕石コンクリートに対し上回り、硬質砂岩砕石コンクリートよりやや下回っている。

(3) 硬化コンクリートの耐久性

凍結融解抵抗性は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準じて評価した。100mm×100mm×400mm 試験体の各配合各 3 体に対し、試験体中心部温度が 5℃~-18℃の往復 1 サイクルを、4hr(凍結 3hr, 融解 1hr)/サイクルで 300 サイクル実施した。相対動弾性係数は、JIS A 1127 に準じて、たわみ振動の一次共鳴振動数と質量とにより算出した。

乾燥収縮率は、JIS A 1129-3「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準じて実施した。材齢 1 週間の水中養生後に基長を測定し、温度 20±2℃、相対湿度 60±5%の恒温恒湿室にて養生し、材齢 52 週まで測定した。

促進中性化試験は、JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準じて行った。促進条件は、温度 20±2℃、

表-2 各粗骨材の圧縮強度およびヤング係数

粗骨材の種類	圧縮強度(N/mm ²)	ヤング係数(kN/mm ²)
緻密高炉スラグ	149	87
石灰石砕石	71	73
硬質砂岩砕石	118	53

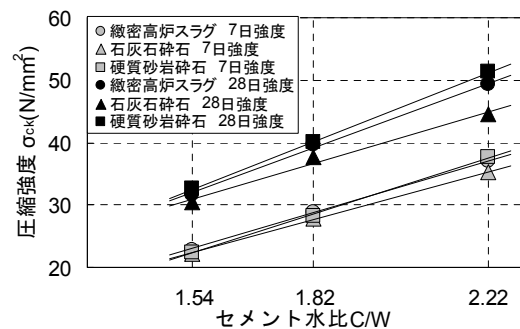


図-2 各配合のセメント水比と圧縮強度の関係

表-3 普通コンクリートの配合試験結果

配合 No.	粗骨材の種類	水セメント比 (%)	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	細骨材率 (%)	配合条件						試験結果	
					単位量(kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤(×C)			
1	緻密高炉スラグ	45	0.585	45.4	170	379	782	1031	0.0080	0.000040	18.0	4.5
2		55	0.585	47.2		309	839	1031	0.0075	0.000035	17.0	4.4
3		65	0.575	49.1		262	894	1014	0.0115	0.000035	17.0	4.8
4	石灰石砕石	45	0.600	45.4		378	782	980	0.0065	0.000060	18.0	4.4
5		55	0.600	47.2		309	839	980	0.0075	0.000050	19.0	4.1
6		65	0.590	49.1		262	894	964	0.0100	0.000050	18.5	4.5
7	硬質砂岩砕石	45	0.579	45.4		378	782	966	0.0080	0.000040	17.0	4.6
8		55	0.579	47.2		309	839	966	0.0075	0.000035	17.0	4.3
9		65	0.569	49.1		262	894	950	0.0115	0.000035	18.0	4.7

相対湿度 60±5%，二酸化炭素濃度 5±0.2%とした。

図-3、図-4、および図-5には、緻密高炉スラグコンクリートの凍結融解試験、乾燥収縮試験、および促進中性化試験の結果を、天然粗骨材を用いた場合と比較してそれぞれ示す。図-3より、緻密高炉スラグ粗骨材コンクリートは、凍結融解抵抗性が天然粗骨材を用いた場合よりもやや劣位であるものの、300 サイクル時の相対動弾性係数が80%を上回っており健全さを保有していることが分かる。また、図-4より、緻密高炉スラグコンクリートは、長さ変化率が乾燥収縮に優位と言われている石灰石砕石より小さくかつ材齢 26 週で 650μ以下であり、「高級」の品質に入る性能を有していると言える⁵⁾。さらに、図-5より、緻密高炉スラグコンクリートは、材齢 26 週で中性化深さ 10mm 以下であり、天然粗骨材を用いた場合と同等の性能であると判断できる。

なお、長期膨張性を評価するため、日本コンクリート工学会(以下、JCI)の促進試験法「JCI-DD2 法」に準じ、φ100mm×200mmの試験体3体を用いて試験を実施した。具体的には、材齢4週まで標準養生の後、温度40℃相対湿度95%以上で養生し、材齢13週まで長さ変化を測定した。いずれの試験体も膨張率100μ以下で、アルカリ骨材反応による膨張の可能性ありと判定される膨張率500μを大幅に下回り、膨張に対し問題ない結果であった。

3.2 超高強度コンクリート

超高強度コンクリートの配合条件は、単位水量を155kg/m³に固定し、水セメント比20%、目標スランプフロー60±5cm、目標空気量2.0±1.0%とした。セメントにはシリカフェームセメントを使用した。耐久性試験は、懸念される自己収縮および乾燥収縮に関して行った。表-4には、超高強度コンクリートの配合試験結果を示す。

(1) フレッシュ性状

緻密高炉スラグ粗骨材、石灰石砕石、および硬質砂岩砕石を用いた水セメント比20%のフレッシュコンクリートは、単位水量を一定にし、混和剤(高性能 AE 減水剤および AE 剤)を同量使用した場合、3種類とも所要のスランプフロー値および空気量が得られた。すなわち、緻密高炉スラグ粗骨材を用いた場合も天然粗骨材を用いた場合に対し遜色のない良好なフレッシュ性状であった。

(2) 硬化コンクリート性状

図-6には、材齢と硬化コンクリート圧縮強度との関係を示す。

図-6より、緻密高炉スラグ粗骨材を用いた超高強度コンクリートの圧縮強度は、硬質砂岩砕石使用時と同等で、石灰石砕石使用時より高いことが分かる。

(3) 自己収縮試験結果

JCIの「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に従って、緻密高炉スラグ粗骨材を用いた超高強度コンクリートの自己収縮性を調べた。試験結果を、図-7に示す。図-7より、緻密高炉スラグ粗骨材を用いた超高強度コンクリートの長さ変化率は、他の2種類の天然粗骨材を用いた場合に対して3/5~2/3であり、著しく小さいことが分かる。

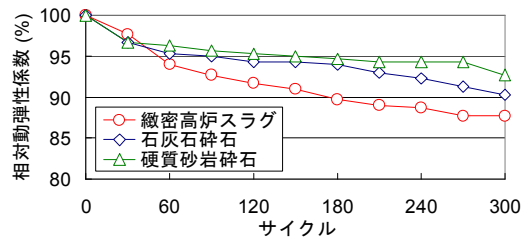


図-3 各コンクリートの凍結融解試験結果

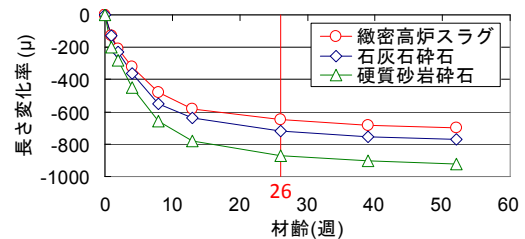


図-4 各コンクリートの乾燥収縮試験結果

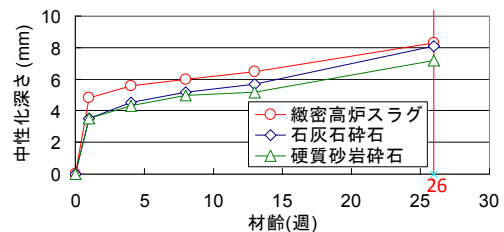


図-5 各コンクリートの促進中性化試験結果

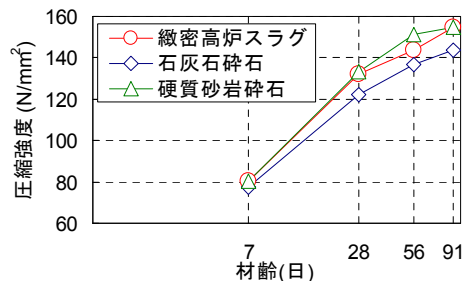


図-6 各超高強度コンクリートの材齢-圧縮強度関係

表-4 超高強度コンクリートの配合試験結果

配合 No.	粗骨材の種類	配合条件								試験結果			
		水セメント比 (%)	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤(×C)		スランプフロー (mm)	空気量 (%)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	AE剤			
1	緻密高炉スラグ	20	0.531	42.6	155	775	632	934	875	0.0095	0.0001	621×604	2.3
2	石灰石砕石		0.544					888				613×606	
3	硬質砂岩砕石		0.525					875				614×592	

(4) 乾燥収縮試験結果

自己収縮量も含めた乾燥収縮試験結果を、図-8 に示す。長さ変化率は、材齢6か月で、緻密高炉スラグ粗骨材、石灰石砕石、および硬質砂岩砕石を用いた場合がそれぞれ-480 μ 、-500 μ 、および-680 μ であり、緻密高炉スラグ粗骨材の乾燥収縮抵抗性能が最も高く優位と言える。

3.3 乾燥収縮特性に関する FEM 分析

収縮性に寄与する要因として、モルタルや骨材自体の収縮に起因する化学作用と骨材の容積含有率およびヤング係数から決まる収縮抵抗力に起因する物理作用とが考えられる⁹⁾。細骨材に比べ比表面積が小さい粗骨材は骨材から溶出する成分の化学作用が収縮性に大きく寄与しているとは考え難いこと、3種類の粗骨材の吸水率が小さくかつ同等であるため各粗骨材の粗骨材自体の収縮量の差は大きくないと考えられること、および上述で示したように粗骨材のヤング係数が高い順に乾燥収縮量が小さいことから、粗骨材の違いによる乾燥収縮特性の差異の原因としては、後者の物理作用が有力と考えられる。

そこで、粗骨材のヤング係数がコンクリートの収縮性能へ及ぼす寄与レベルを把握するため、表-5 に示すように、上述した乾燥収縮試験体を2軸対称の1/4解析モデルとして、モルタルおよび粗骨材のヤング係数をパラメータとする FEM 解析を行った。解析要素は粗骨材とモルタルの2種類で、モルタル中に粒径20mmで正12面体の粗骨材を、粗骨材同士が接触しないように約40%の実績率で配置した。モルタル強度24N/mm²で粗骨材のヤング係数が100kN/mm²のケースに対し線膨張係数10 μ /°Cとして550 μ まで縮む温度を設定し、各ケースの要素節点に同じ温度荷重を与えた。その結果、図-9 に示すように、モルタルの圧縮強度が高くなるほど収縮量が大きくなり、モルタルの圧縮強度が同じ場合は粗骨材のヤング係数が高くなるほど収縮量が小さくなる、乾燥収縮試験の傾向と同様な結果が得られた。したがって、緻密高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの良好な収縮性は、粗骨材の高ヤング係数による物理的な抵抗力が一因と考えられる。

4. 緻密高炉スラグ粗骨材を用いた RC 梁の曲げ性能

4.1 梁曲げ載荷試験の概要

緻密高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの施工性および部材としての性能を検証するため、2種類のコンクリート強度の RC 梁の曲げ載荷試験を実施した。図-10 には、RC 梁試験体と載荷状況を示す。

RC 梁試験体には、D19(SD345)の異径鉄筋を、上鉄筋として181mm間隔で2本(かぶり50mm)、下鉄筋として90.5mm間隔で3本(かぶり50mm)を配置した。全長2.4m、300mm×300mm断面の RC 梁であり、コンクリートには

緻密高炉スラグ粗骨材、あるいは天然粗骨材を用いた。帯筋として、D13(SD345)の異径鉄筋を部材軸方向に150mm間隔で配置した。載荷方法は、支間2mの中央部2点に載荷する4点曲げ載荷とした。荷重載荷は、2体とも下鉄筋のひずみが30,000 μ に到達、あるいはコンクリートが圧壊して荷重が急激に低下するまで載荷した。

載荷試験に先立ち、鉄筋とコンクリートとが完全合成であるとして、図-11 に示す各荷重を、各荷重時の応力状態を仮定して算出した。ここで、引張側コンクリートのひび割れ荷重 $P_{bt,cal}$ は、道路橋示方書・同解説 V.耐震

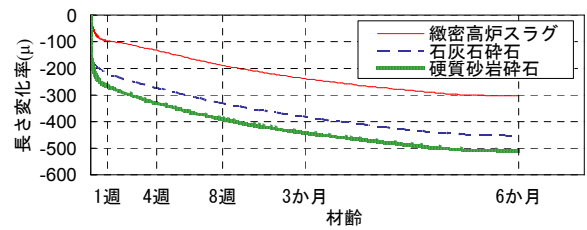


図-7 各超高強度コンクリートの自己収縮試験結果

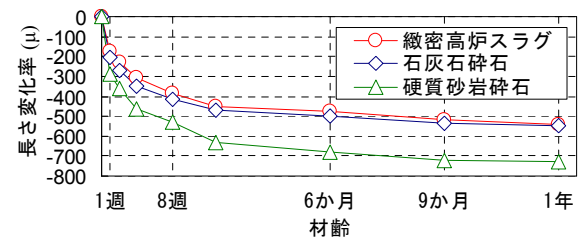


図-8 各超高強度コンクリートの乾燥収縮試験結果

表-5 FEM 解析モデルと解析ケース

解析モデル	Case	モルタル		粗骨材
		強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
	1	24	25	70
	2			100
	3	80	38	70
	4			100
	5	120	42	70
	6			100

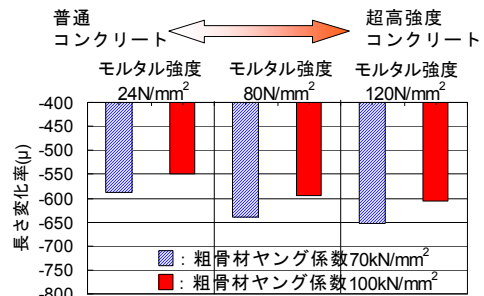


図-9 ヤング係数と乾燥収縮率との関係

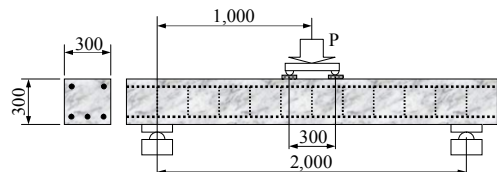


図-10 RC 梁試験体と載荷状況(寸法単位:mm)

設計編記載のコンクリートの応力 σ_c -ひずみ ϵ_c 曲線および曲げ引張強度 σ_{bt} を用いて計算している⁸⁾。すなわち、

$$\sigma_c = 0.85\sigma_{ck} [2(\epsilon_c/0.002) - (\epsilon_c/0.002)^2] \quad (1)$$

$$\sigma_{bt} = 0.23\sigma_{ck}^{2/3} \quad (2)$$

ここに、 σ_{ck} はコンクリートの圧縮強度である。 $P_{y,cal}$ および σ_y は下鉄筋の降伏荷重および降伏応力、 $P_{cu,cal}$ はコンクリートの圧壊荷重である。また、終局荷重の計算値 $P_{yu,cal}$ は、下鉄筋の終局ひずみ ϵ_u を、

$$\epsilon_u = 20\epsilon_y \quad (\epsilon_y: \text{下鉄筋の降伏ひずみ}) \quad (3)$$

として算出した。たわみは、各荷重時の応力状態における曲率から、線形補間して求めた各断面位置の曲率を、長さ方向に積分して求めた。

コンクリートは、3層に分けて打設し、1層毎に20分の合計1時間で打設した。打設完了後、ブリージング収束時に表面仕上げを行い、上面にビニールを掛け封緘養生、24時間後に硬化を確認し湿布養生を開始した。試験体およびテストピースは、打設後2週間湿布養生した後脱型し、同じ場所で気中養生した。

4.2 材料特性

表-6には、各RC梁試験体に用いた鉄筋の機械的性質を示す。表-7には同コンクリートの配合を、表-8には同コンクリートの機械的性質を、それぞれ示す。なお、普通コンクリートおよび高強度コンクリートのブリージング収束は、それぞれ約4時間後および2.5時間後であった。

4.3 普通RC梁曲げ載荷試験結果

荷重-中央変位関係を、計算値と比較して図-12に示す。図-12より、粗骨材の種類にかかわらず、両者ともコンクリート圧壊荷重の計算値より大きいことが分かる。また、両者とも載荷荷重30kN前後で最初のひび割れが発生した。試験終了後にひび割れ状況を観察したところ、図-13に示すように、両者とも幅1mm以上の曲げひび割れは7本発生していた。なお、最大ひび割れ幅は両者とも6mmであった。以上のことから、緻密高炉スラグ粗骨材をRC梁に適用しても、天然粗骨材を用いた場合と同等の耐力が得られることを実証した。

また、ひび割れ性状についても、緻密高炉スラグ粗骨材RC梁は石灰石砕石RC梁と同等で良好なひび割れ分散性を有することが分かった。コンクリート中の粗骨材分離の有無を確認するため、曲げ載荷試験後、緻密高炉スラグ粗骨材RC梁の中央部を切断し、粗骨材の分散性を観察した。図-14に示すように、緻密高炉スラグ粗骨材は断面内に均一に分布しており、良好に分散していることが分かる。

4.4 高強度RC梁曲げ載荷試験結果

荷重-中央変位関係を、計算値と比較して図-15に示す。図-15より、曲げ耐力は、骨材の種類にかかわらず、

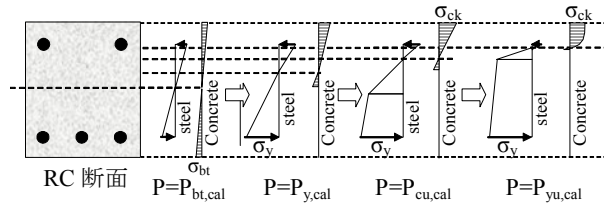


図-11 各荷重時の応力状態

表-6 各RC梁試験体に用いた鉄筋の機械的性質

RC梁の種類	鉄筋	断面積 (mm ²)	上降伏点 (N/mm ²)	下降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	伸び率 (%)
普通RC梁	D13	126.7	368.9	355.2	529.6	191.1	18.1
高強度RC梁	D19	286.5	384.2	375.3	569.1	200.1	17.8
普通RC梁	D13	126.7	380.0	374.9	548.6	195.0	18.3
高強度RC梁	D19	286.5	379.1	376.2	562.1	184.8	15.6

表-7 各RC梁試験体に用いたコンクリート配合

RC梁の種類	粗骨材の種類	単位量(kg/m ³)					スランブ(cm)	空気量(%)	
		W	C	S	G	Ad1(×C)			
普通RC梁	緻密高炉スラグ	170	309	837	1027	0.0075	0.000045	18.0	4.5
	石灰石砕石				976	0.0075	0.000060	19.0	5.5
高強度RC梁	緻密高炉スラグ	175	500	671	1008	0.0150	0.000045	18.0	3.1
	硬質砂岩砕石				944	0.0150	0.000045	19.0	2.8

注 W:上水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, Ad1:AE減水剤, Ad2:AE剤

表-8 各RC梁試験体コンクリートの機械的性質

RC梁の種類	粗骨材の種類	強度(N/mm ²)				ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比(%)
		圧縮		割裂	曲げ		
		材齢	28日	試験当日	28日	28日	
普通RC梁	緻密高炉スラグ	38.5	42.3	2.9	4.4	32.7	0.20
	石灰石砕石	39.2	41.7	3.2	4.6	28.6	0.20
高強度RC梁	緻密高炉スラグ	73.7	76.3	4.8	6.3	43.6	0.21
	硬質砂岩砕石	74.1	79.0	4.4	6.2	35.1	0.18

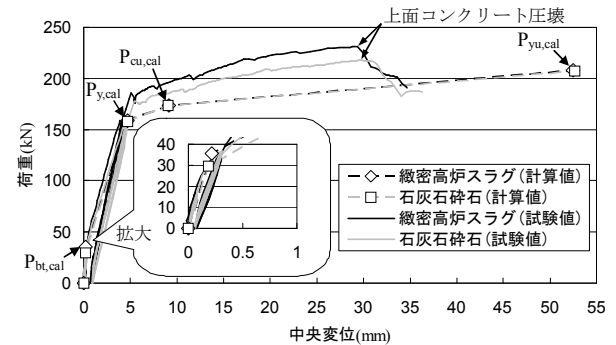


図-12 普通RC梁の荷重-中央変位関係

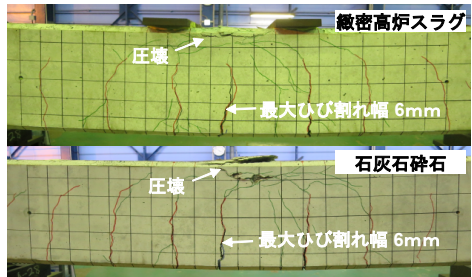


図-13 普通RC梁試験体のひび割れ状況

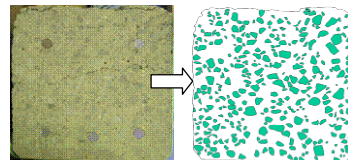


図-14 普通RC梁試験体切断面

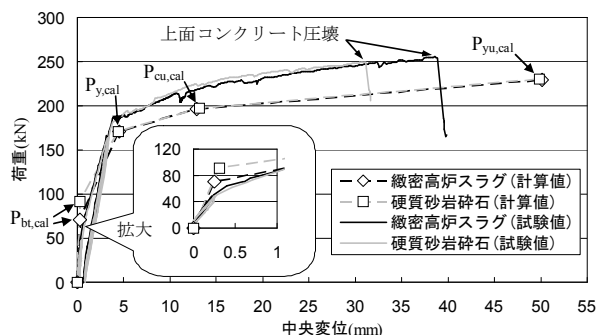


図-15 高強度 RC 梁の荷重-変位関係

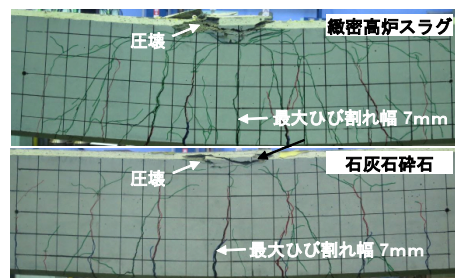


図-16 高強度 RC 梁試験体のひび割れ状況

両者ともコンクリート圧壊荷重の計算値より大きいことが分かる。変形性能については、緻密高炉スラグ粗骨材 RC 梁の方が硬質砂岩砕石 RC 梁より高い結果となった。

試験終了後にひび割れ状況を観察したところ、図-16に示すように、両者とも幅 1mm 以上の曲げひび割れは 6 本発生していた。なお、中央部の最大ひび割れ幅は両者とも 7mm であった。また、ひび割れ性状は、図-16 から分かるように、緻密高炉スラグ RC 梁の方が硬質砂岩砕石 RC 梁より細かく分散し良好であった。その原因として、硬質砂岩砕石使用時の方が緻密高炉スラグ使用時よりもブリージング量が多く、骨材とペーストの界面にレイタンスが生じ易くなり、骨材とペーストとの付着が比較的弱い位置にひび割れが集中したためと考えられる。

以上のことから、緻密高炉スラグ粗骨材を高強度 RC 梁に適用した場合、曲げ耐力は計算値よりも高く安全側となる、かつ変形性能に優れることを実証した。

5. 結言

本研究では、吸水率 1%以下の緻密高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの基本性能を評価・考察した。得られた成果を、以下に列挙する。

- (1) 緻密高炉スラグ粗骨材を用いた 30~50N/mm²級の普通コンクリートの圧縮強度は、硬質砂岩砕石コンクリートと同等であり、石灰石砕石コンクリートよりも高く優位である。
- (2) 緻密高炉スラグ粗骨材を用いた 100N/mm² 級の高強度コンクリートの圧縮強度は、硬質砂岩砕石コンクリートと同等であり、石灰石コンクリートよりも

高い。自己収縮量は、天然粗骨材(硬質砂岩砕石、石灰石砕石)コンクリートより著しく小さく優位である。

- (3) 100N/mm² 級の高強度も含め、30N/mm² 以上のコンクリート強度の場合、緻密高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートは、天然粗骨材使用時と比較してフレッシュ性状及び強度の面で遜色がない。
- (4) 緻密高炉スラグコンクリートの凍結融解抵抗性、乾燥収縮、中性化、および長期膨張性について評価し、問題がないことを検証した。また、緻密高炉スラグコンクリートは良好な収縮特性を有していることが明確になった。この理由としては、緻密高炉スラグ粗骨材の高いヤング係数が一因であると考えられる。
- (5) コンクリート強度 40N/mm² 級および 75N/mm² 級の RC 梁を作製し、その後 4 点曲げ荷重試験を実施した結果、緻密高炉スラグ RC 梁は、曲げ耐力に関して計算値より高く安全側、かつ天然粗骨材を用いた場合に比べ若干大きいことを実証した。
- (6) 上記(5)の緻密高炉スラグ RC 梁の曲げひび割れの分布状況およびフレッシュ性状は、天然粗骨材を用いた場合に比べ遜色ないことを実証した。

参考文献

- 1) 西裕宜・名和豊春：収縮低減剤がモルタルの乾燥収縮および凍結融解挙動に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.1173-1178，2007。
- 2) 當房博幸，宮本陽子，渡辺圭児，桑山道弘，小澤達也，田中敏宏：粗骨材用高炉徐冷スラグの気孔率低減のための凝固条件，鉄と鋼，Vol.99，No.8，pp.532-541，2013.7。
- 3) 當房博幸，田恵太，渡辺圭児，萩尾勇樹：高炉スラグ連続凝固設備による低吸水性骨材の製造，CAMP-ISIJ，Vol.27，pp.704，2014。
- 4) 白川輝，藤井隆史，高橋克則，綾野克紀：緻密化した高炉徐冷スラグ粗骨材を用いたコンクリートの強度および変形特性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，37 卷，1 号，pp.79-84，2015。
- 5) 都築正則，一瀬賢一，神代泰道，小柳光生：各地域のレディーミクストコンクリート工場にて製造されたコンクリートの乾燥収縮に関する調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.1，pp.483-488，2008。
- 6) 上原元樹，鶴田孝司，水野清，佐藤隆恒：コンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす骨材の物理・化学的性質，鉄道総研報告，Vol.26，No.12，pp.5-10，2012.12。
- 7) 後藤幸正，藤原忠司：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響，土木学会論文報告集，第 286 号，pp.125-137，1979.6。
- 8) 道路橋示方書・同解説 V.耐震設計編，(社)日本道路協会，2002.3。