高炉スラグ細骨材の性状とコンクリート圧縮強度への影響に関する実験

EXPERIMENTS ON PROPERTIES OF BLAST FURNACE SLAG FINE AGGREGATE AND INFLUENCE OF BLAST FURNACE SLAG FINE AGGREGATE ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

石 東 昇*, 梶田佳寛**, 李 榮 蘭***

Dongsheng SHI, Yoshihiro MASUDA and Youngran LEE

Properties of blast furnace slag fine aggregate and compressive strength of concrete using blast furnace slag fine aggregate were studied on following 3 aspects.

1. Properties including of absorption, density, grading and crushed value of blast furnace slag fine aggregate coming from 3 different steel factories and 1 type of natural river sand used as contrast are studied.
2. Properties including of slump, slump flow, air content and density about fresh concrete using blast furnace slag fine aggregate and river sand were tested.
3. Compressive strength of concrete using blast furnace slag fine aggregate was studied. Furthermore, influence of blast furnace slag fine aggregate on compressive strength of concrete was discussed.

Keywords : *Blast furnace slag fine aggregate, Properties of fine aggregate, Crash value, Concrete, Compressive strength*

高炉スラグ細骨材, 骨材の性状, 破碎値, コンクリート, 圧縮強度

1. はじめに

高炉スラグ細骨材は、環境対策における産業副産物の有効利用という観点から天然砂代替のコンクリート用細骨材として研究^{1)~4)}が行われ、その品質規格が1981年にJIS A 5012「コンクリート用高炉スラグ細骨材」として制定された。1997年にスラグ骨材の品質規格が改正された時に、JIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材—第1部：高炉スラグ骨材」の中に含まれ、その後、部分的な改正が行われて今日に至っている。この間、高炉スラグ細骨材はJIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の中で使用できる骨材として規定され、普通にコンクリートに使用されるようになっている。しかし、日本建築学会 JASS 5 や関連指針では⁵⁾、特記がない限り高強度コンクリートへの使用が制限されている。この理由として、高炉スラグ細骨材の高強度コンクリートへの適用の実績がほとんどないこと、高強度コンクリートに関する研究が少ないことなどが考えられる。

高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの強度、耐久性について多くの研究^{1)~4)}が行われ、同じ単位セメント量の天然砂を使用したコンクリートに比べて材齢7日の圧縮強度は5~18%程度低い、材齢5年では5~18%程度高くなると報告されている³⁾。この

理由として、高炉スラグ水砕細骨材には潜在水硬性があり、天然砂を使用したコンクリートに比べて長期強度の増進が期待できるためとしている。

本研究では、高炉スラグ細骨材を使用した高強度コンクリートにおいても、潜在水硬性によって、長期材齢では、川砂を使用した高強度コンクリートより強度が高くなることが期待できるかどうかを調べることにした。また、高炉スラグ細骨材の潜在水硬性以外の骨材の強さや形状が強度発現に及ぼす影響についても検討することとした。

2. 高炉スラグ細骨材の特性

2.1 対象とした細骨材と試験項目

実験では吸水率の異なる市販されている3銘柄の高炉スラグ水砕から製造された細骨材(SA, SB, SC)と比較のための川砂(大井川産)を使用した。細骨材の特性を評価するために、通常の骨材試験である吸水率、絶乾密度、粒度分布以外に、粒形観察および骨材の強さ評価のための骨材破碎値⁶⁾を試験した。粗骨材の破碎値については、いくつかの研究が行われ、破碎値とコンクリート強度との間にある程度相関があるとされているが、細骨材については、研究

* 宇都宮大学大学院工学研究科システム創成工学専攻
(中国・内蒙古工業大学土木工程学院 准教授)

** 宇都宮大学大学院工学研究科 教授・工博

*** 宇都宮大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)

Graduate Student, Dept. of Architecture, Utsunomiya University
(Assistant Prof., School of Civil Engineering, Inner Mongolia University of Technology, China)

Prof., Dept. of Architecture, Utsunomiya University, Dr. Eng.

Assistant Prof., Dept. of Architecture, Utsunomiya University, Dr. Eng.

がほとんどなく、その関係についてはあまり明らがではない。そこで破砕試験の結果を全体的に評価することとした。

2.2 試験方法

吸水率、絶乾密度および粒度分布は、それぞれ対応する JIS 規格によって試験し、粒形の観察は顕微鏡による写真撮影で行った。JIS には骨材破砕値の試験方法の規定はないが、英国規格 BS 812-110 や中国国家規格 JDJ 52 に規定されており、いずれも細骨材の破砕試験器は直径 77mm、高さ 80mm の鉄製円筒とし、試料は、各々の細骨材を 2.5～1.2mm、1.2～0.6mm、0.6～0.3mm に分級したものを用い、250kN で載荷した後の各々小さい方のふるい通過率で表している。ここでは、規格に従って分級した骨材および分級しない有姿の骨材とを各々絶乾状態にして用いた。試験手順はいずれも試料を試験器に入れ、各々100、200、300、400、500 および 600kN の荷重で載荷した後の粒度分布を求めた。

2.3 試験結果

(1) 吸水率・絶乾密度・実積率および粗粒率

3 銘柄の高炉スラグ細骨材 (SA, SB, SC) と川砂の吸水率、絶乾密度、実積率および粗粒率の試験結果を表 1 に示し、図 1 にふるい分け試験の結果を示す。今回の実験で使用した市販の高炉スラグ細骨材は、川砂と比べて絶乾密度が大きく、実積率が小さいことがわかる。また、粒度分布は 2.5mm 以下で 1.2mm から 0.3mm の粒度範囲のものが多いことが分かる。

(2) 粒形

写真 1 に顕微鏡による細骨材の粒形の例を示す。高炉スラグ細骨材は、川砂と比べていずれの粒度範囲においても突起状のものがあって角張っており、非常に粒形が悪いことが分かる。

(3) 細骨材の破砕試験

図 2 に分級した粒度範囲 1.2～0.6mm の細骨材の破砕試験の結果をふるい通過率で表したものを示す。いずれの試料も、大きい荷重を載荷したときの方がふるい通過率が大きくなっているが、荷重の大きさに対するふるい通過率の大きさの傾向は、川砂と高炉スラグ細骨材とで異なっている。しかし、同じ荷重の場合、高炉スラグ細骨材のふるい通過率は川砂に比べて大きく、100kN を載荷した時点では、ふるいの規格 0.6mm で川砂の通過率は 23%、高炉スラグ細骨材は 55～58%であり、ふるいの規格 0.3mm で川砂の通過率は 9%、高炉スラグ細骨材には 25～28%であり、ふるいの規格 0.15mm で川砂の通過率は 4%、高炉スラグ細骨材には 11～16%である。いずれの高炉スラグ細骨材でも大差がなく、その後大きい荷重を載荷しても、ふるい通過率はそれほど大きくならないことが認められる。また、他の粒度範囲の細骨材の破砕試験の結果でも、ふるい通過率の様子は粒度範囲 1.2～0.6mm の細骨材の場合と同様であった。破砕試験後の荷重と粗粒率と関係を図 3 に示す。破砕試験後の粗粒率は、高炉スラグ細骨材の方が川砂より大きく低下していることが分かる。川砂は、荷重の増加に対する粗粒率の低下の関係はいずれの粒径でも同じようであり、平行に低下しているが、高炉スラグ細骨材の場合は 100kN 載荷後に急激に低下した後はほぼ平行に低下していることが認められる。川砂は粒径によって破砕特性はあまり変わらないが、高炉スラグ細骨材は、粒径の大きい方が載荷荷重の増加に対するふるい通過率の増加の程度は大きい。なお、高炉スラグ細骨材の銘柄の違いによる破砕試験の結果は大差

表 1 吸水率・絶乾密度・粒度分布の試験結果

骨材	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	粗粒率
SA	2.70	0.39	60.9	2.42
SB	2.57	1.27	61.3	2.57
SC	2.60	1.48	60.2	2.28
川砂	2.53	1.68	66.8	2.52
粗骨材	2.64	0.66	61.9	6.83

図 1 ふるい分け試験結果

写真 1 高炉スラグ細骨材の粒形の例

図 2 分級細骨材の破砕試験の結果（粒度 1.2～0.6mm）

ないことが認められる。

中国国家規格における骨材破碎値の試験方法は、分級試料を前述の試験容器に入れ、250kNの荷重を載荷した後のふるい残留率で表す。今回の試験で250kNに相当するものとして200kNと300kNとで載荷した後のふるい残留率の平均を求めると表2のようになり、高炉スラグ細骨材は川砂に比べて1.5倍以上の大きい値を示した。

図4は、分級しない有姿の骨材を用いた場合の試験結果をふるい通過率で表したものである。また、分級していない骨材に対する荷重と粗粒率の関係を図5に示す。川砂は、分級しない有姿で試験した場合は、荷重を増加してもふるい通過率はそれほど変化しないが、高炉スラグ細骨材の場合は100kN載荷した後にふるい通過率が急激に増加し、その後は荷重を増加してもふるい通過率はそれほど増加しないことが認められる。このことは前述の分級した高炉スラグ細骨材において100kN載荷後に急激にふるい通過率が増加し、それより大きい荷重を載荷した場合のふるい通過率の増加があまり大きくならないことと同じ理由が考えられる。川砂の場合、分級しない有姿では、実積率が大きいことから大きい粒子の間に小さい粒子が入り込み、全体として荷重を受ける。一方、分級した場合は粒度がそろうため、単一粒径の粒子同士が接触し、接触した点で荷重を受け、荷重の増加に対して順次破碎されていくことが考えられる。また、高炉スラグ細骨材の場合は、分級していない有姿でも実積率が小さく、分級したものと同様に角張った突起部分が他の粒子に接触し、破碎試験における最初の荷重で破碎されてしまうことが考えられる。このような川砂と高炉スラグ細骨材の破碎特性の違いが後述する高強度コンクリートの圧縮強度特性に影響するものと予想される。

3. 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの強度特性

3.1 実験の要因と水準

実験の要因および水準を表3に示す。細骨材は川砂と高炉スラグ細骨材を各々単味および容積比1:1で混合して使用した。粗骨材は、青梅産砂岩碎石の2013と1305を質量比2:1で混合したものとし、表1に粗骨材の性状を示す。コンクリートの水セメント比は、目標とする圧縮強度のレベルを24N/mm²、36N/mm²、60N/mm²、80N/mm²および100N/mm²とし、水セメント比は各々60%、40%、30%、24%および20%とし、セメントは、水セメント比60%および40%は普通ポルトランドセメント、30%および24%は低熱ポルトランドセメント、20%はシリカフェュームセメントを用いて、また、表4にセメントの性状を示す。混和剤は、W/C=60%はAE減水剤、W/C=40%および30%は高性能AE減水剤、W/C=24%および20%は超高強度コンクリート用の高性能減水剤を用いた。コンクリートの目標スランプは、W/C=60%は15±2.5cm、W/C=40%は21±2cm、W/C=30%～20%はスランプフロー65±10cmとした。目標空気量は、W/C=60%は4.5%、W/C=40%は3.0%、その他は2.0%とした。細骨材によって、実積率が異なるため、細骨材ごとに適正な単位水量や単位粗骨材かさ容積が存在することが考えられるが、今回の実験では、コンクリート中の材料の構成比を同じとし、フレッシュコンクリートの性能を混和剤によってできるだけ同一することとし、各水セメント比における単位水量および単位粗骨材かさ容積は、試し練りによって調整して決定した。コンクリートの調合を表5に示す。

図3 分級細骨材の載荷荷重と粗粒率の変化

表2 中国国家規格による破碎値				
細骨材	川砂	SA	SB	SC
破碎値(%)	39.8	64.5	65.9	65.7

図4 分級していない細骨材の破碎試験の結果

図5 分級していない載荷荷重と粗粒率の変化

表3 コンクリート実験の要因と水準	
要因	水準
細骨材種類	川砂, 高炉スラグ細骨材(SA, SB, SC) 川砂+高炉スラグ細骨材(絶対容積比1:1混合)
セメント種類および水セメント比	普通ポルトランドセメント(W/C=60, 40%) 低熱ポルトランドセメント(W/C=30, 24%) シリカフェュームセメント(W/C=20%)
養生条件	標準, 20℃封かん
材齢	3, 7, 28, 91日, 1年

表4 セメントの品質

	普通ポルトランドセメント	低熱ポルトランドセメント	シリカフェュームセメント*
密度(g/cm ³)	3.16	3.22	3.05
比表面積(cm ² /g)	3300	3420	6020
圧縮強度** (N/mm ²)	7日	29.6	18.0
	28日	44.7	55.7
	91日	---	83.8
			131

[注]：*) シリカフェュームセメントのベースセメントは中庸熱ポルトランドセメントでシリカフェュームの添加率は10%。

*) シリカフェュームセメントの圧縮強度はJASS 5T-701による。

表5 コンクリートの調合

W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	単位粗骨材かさ容積(m ³ /m ³)
60	180	300	0.60
40	184	460	0.60
30	175	584	0.58
24	170	709	0.54
20	165	825	0.52

3.2 実験項目と方法

フレッシュコンクリートについては、JIS規格によってスランブ、スランブフロー、空気量および単位容積質量について試験をした。硬化コンクリートについては、圧縮強度を試験し、Φ100×200(mm)円形供試体を用い、材齢3日、7日、28日、91日および1年に行った。供試体の養生は標準養生および20℃封かん養生とした。

3.3 試験結果

(1) フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を表6に示す。W/C=60%のスランブは10.5～17.5cmで若干固めであり、W/C=40%のスランブは21.0～24.0cmでやや軟らかめであった。また、スランブフローは42.5～75.0cmであり、目標値から若干外れているのもあった。高炉スラグ細骨材は突起状のものがあって角張っており、非常に粒形が悪く、高炉スラグ細骨材を用いるとコンクリートのワーカビリティは低下することが考えられ、細骨材率を大きくするとワーカビリティは改善されるが、所要のスランブまたはスランブフローを得るために必要な単位水量が大きくなる。今回の実験では、「高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工指針5)」に従って、細骨材率を大きくして、単位粗骨材かさ容積は日本建築学会の「コンクリートの調合設計指針・同解説」に示されている標準値より小さくした。なお、単位水量の必要増加分は、化学混合剤の添加率で調整することとし、単位水量は同じとした。

空気量は、W/C=60%のとき川砂が目標値より少なく、W/C=40%のときSAおよびSCが目標値より多かったが、他は概ね目標に近い結果となった。

(2) 硬化コンクリート

表7に圧縮強度試験の結果を示す。また、図6に川砂および高炉スラグ細骨材の代表例としてSBを使用し、標準養生したコンクリートのセメント水比と圧縮強度の関係を示す。これらの表および図からいずれもW/C=30%および24%は、材齢3日、7日の初期強度の発現が遅いが、28日から大きく増進していることが分かる。これは使用したセメントが低熱ポルトランドセメントであるためと考えられる。また、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートも、水セ

メント比を小さくすると強度増加が認められ、100N/mm²以上の圧縮強度を得ることができる。表7から、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの材齢1年の圧縮強度は、今回実験した川砂を使用したコンクリートよりW/C=60%の場合は0.7～9N/mm²、W/C=40%の場合は2～15N/mm²、W/C=30%の場合は7～18N/mm²、W/C=24%の場合は22～51N/mm²そしてW/C=20%の場合12～36N/mm²低い値を示している。しかし、今回の実験では、空気量の変動が大きいものがあり、圧縮強度に影響することが考えられる。そこで、既往の文献⁷⁾において空気量1%の増加に対し、同一水セメント比の場合、圧縮強度は4～6%低下するとされているので、ここでは、仮に目標空気量に対して空気量1%増加した場合、圧縮強度が5%減少するとして補正を行い、その補正強度に基づいて以下の考察とすることとした。

表6 フレッシュコンクリートの試験結果

W/C (%)	細骨材	混和剤 (C×%)	スランブ(フロー) (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)
60	川砂	0.25	12.5	2.4	2.34
	SA		12.0	5.5	2.36
	SB		12.5	4.3	2.31
	SC		10.5	4.7	2.30
	川砂+SA		17.5	4.8	2.34
	川砂+SB		13.0	4.2	2.34
	川砂+SC		11.5	4.3	2.35
40	川砂	0.9	23.0	2.4	2.28
	SA		24.0	5.1	2.36
	SB		21.0	2.9	2.24
	SC		23.0	5.1	2.27
30	川砂	0.9	66.5	0.9	2.43
	SA		67.5	1.6	2.48
	SB		66.5	1.0	2.45
	SC		62.5	1.2	2.42
	川砂+SA		64.0	1.6	2.46
	川砂+SB		68.5	0.2	2.47
	川砂+SC		64.5	1.4	2.44
24	川砂	1.2	59.5	1.2	2.47
	SA	1.0	75.0	0.9	2.51
	SB	0.8	71.5	0.6	2.49
	SC	0.8	42.5	1.8	2.44
	川砂+SA	1.2	74.5	0.7	2.50
	川砂+SB	1.0	75.5	0.8	2.48
	川砂+SC		46.5	1.4	2.47
20	川砂	1.2	50.0	1.0	2.47
	SA	0.9	54.5	1.9	2.49
	SB		53.5	1.6	2.45
	SC		46.5	2.0	2.41

図6 セメント水比と圧縮強度の関係（標準養生）

表7 圧縮強度の試験結果 (N/mm²)

W/C (%)	細骨材	標準養生					封かん養生				
		材齢 (日)					材齢 (日)				
		3	7	28	91	365	7	28	91	365	
60	川砂	14.7	22.4	34.3	38.2	39.7	23.4	33.2	38.2	43.0	
	SA	10.7	17.1	28.4	35.8	39.0	18.8	29.3	36.4	40.0	
	SB	8.3	14.4	21.0	28.1	31.9	14.3	22.5	28.3	34.5	
	SC	11.3	18.8	26.5	31.7	36.7	18.8	26.1	32.3	36.8	
	川砂+SA	12.1	17.8	28.9	39.9	37.7	18.9	26.3	33.7	38.7	
	川砂+SB	10.8	18.0	28.0	33.2	34.1	18.4	25.1	32.6	36.3	
	川砂+SC	13.6	14.7	30.0	37.7	37.8	22.2	29.8	35.9	43.0	
40	川砂	24.5	35.0	47.2	47.6	48.9	34.5	45.6	46.9	56.2	
	SA	17.5	25.6	33.2	39.9	41.2	24.0	34.2	39.5	41.7	
	SB	20.6	30.3	38.6	39.9	44.3	30.0	33.7	45.1	45.5	
	SC	20.1	30.3	42.1	50.9	48.8	30.2	41.5	46.5	50.8	
30	川砂	24.3	38.6	87.1	105.6	102.9	39.6	76.1	92.5	101.7	
	SA	21.8	33.5	75.6	95.7	92.7	29.2	69.9	84.3	94.9	
	SB	20.8	32.3	67.6	89.0	90.1	34.6	65.9	76.9	84.9	
	SC	15.9	24.0	64.9	84.2	87.7	24.9	59.0	71.1	83.5	
	川砂+SA	25.2	39.6	88.7	110.9	110.1	41.0	82.6	93.3	109.5	
	川砂+SB	23.7	39.2	82.7	105.5	105.3	40.7	73.3	90.5	97.4	
	川砂+SC	18.9	33.8	78.1	102.2	97.6	33.5	69.2	83.7	93.2	
24	川砂	42.5	58.1	104.2	135.2	128.6	62.7	99.9	123.7	139.7	
	SA	31.8	42.1	81.0	89.0	87.3	42.9	73.8	78.6	88.9	
	SB	30.4	40.2	76.0	90.3	83.6	40.6	62.7	85.1	98.7	
	SC	27.9	35.3	75.6	83.4	89.0	39.6	70.1	86.8	100.4	
	川砂+SA	37.0	50.0	88.5	102.3	95.0	48.5	82.5	94.4	100.9	
	川砂+SB	34.7	47.8	71.4	111.3	94.2	48.4	77.1	104.8	107.3	
20	川砂+SC	36.0	49.2	96.5	116.4	98.9	49.5	88.5	104.8	117.4	
	川砂	72.0	93.5	126.5	157.1	148.1	85.6	128.0	140.8	150.4	
	SA	64.6	79.0	112.5	128.5	123.3	80.8	106.2	125.3	133.3	
	SB	62.5	78.7	100.9	119.3	120.7	78.6	106.8	112.7	123.7	
	SC	58.1	65.9	100.2	121.2	121.7	65.4	102.5	113.1	114.7	

図7に空気量による補正を行った場合の標準養生における高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度の川砂の場合に対する比を示す。高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は今回使用した川砂の場合に比べて約60～120%の範囲にあり、平均90%程度の強度になっている。また、W/C=60%および40%の場合は、材齢が長くなるにつれて相対的な強度が増加する傾向にある。しかし、W/C=24%および20%の場合は、材齢が長くなるにつれて相対的な強度が低下する傾向にある。このことから、W/C=60%～40%の時は、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートに関する既往の研究で、高炉スラグ細骨材の潜在水硬性により、長期材齢に強度が相対的に高くなると言われていることと一致している。しかし、強度レベルがそれより高くなると、潜在水硬性による強度増進よりも骨材の形状による、破砕値の特性の方が卓越し、強度が増進しないことが考えられる。

図8に圧縮強度に対する養生条件の影響を示す。いずれの細骨材においても、封かん養生の圧縮強度のほうが標準養生の圧縮強度よりやや小さくなっている。川砂の場合、封かん養生の圧縮強度は標準標準養生の圧縮強度の0.97倍、高炉スラグ細骨材の場合、0.98倍、混合細骨材の場合、0.96倍で、養生の違いに関しては、川砂と高炉スラグ細骨材とが大差はなかった。

図9に使用した細骨材と圧縮強度の関係を示す。川砂と高炉スラグ細骨材を混合した場合は、概ね川砂と高炉スラグ細骨材を単独で使った場合のほぼ中間の値を示している。

3.4 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの強度発現に関する考察

実積率の試験および粒形の撮影によって、高炉スラグ細骨材は突起状のものがあって角張っており、粒形は川砂の粒形より非常に悪い。また、破砕試験において、高炉スラグ細骨材は川砂より破砕されやすいことが認められる。高炉スラグ細骨材が破砕されやすい原因は、粒形が悪く突起状のものがあること以外に、粒子自身の強度

図7 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの川砂の圧縮強度に対する比（空気量によって修正した強度を用いた）

図8 養生条件と圧縮強度の関係

図9 使用した細骨材と圧縮強度（空気量によって修正した強度を用いた）

が低いことが考えられる。細骨材はコンクリートの重要な構成部分であるので、細骨材自身の強度はコンクリートの強度に影響すると考えられる。今回、高炉スラグ細骨材自身の強度についての試験データはないが、破碎試験を行ったときに、最初の載荷で破碎し、その後の破碎はあまり認められないことから、強度は必ずしも川砂より低いとは言えないと考えられる。

粒形が悪い細骨材を用いると骨材の比表面積が大きくなり、骨材周囲の遷移帯が多くなり、コンクリートの圧縮強度は粒形が良い細骨材より低くなることが考えられる⁹⁾。一方、高炉スラグ細骨材は、潜在水硬性を持ち、長期材齢になると、遷移帯の欠陥が改善されて、強度が改善することが期待される。W/C=60%および40%の場合、SAおよびSCを用いるコンクリートの長期材齢の強度は川砂コンクリートの強度を超えていることから、このことがうかがえる。しかし、W/C=24%および20%の場合は、材齢が長くなっても相対的な強度は低い傾向にある。高炉スラグ細骨材は、全体として角ばっているため、高強度のペーストによって、骨材の突った箇所に応力集中が起り破碎することが考えられる。このことが、超高強度コンクリートに使用した時の強度発現性に影響すると考えられる。なお、このことを確認するためには、コンクリート中で骨材の破碎状況を

調べることなどが必要でと考えられるが、今後の課題としたい。このように、高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは、W/C=60%～40%程度の普通コンクリートでは、潜在水硬性による強度増進が期待でき、川砂を使用したコンクリートより強度が高くなるが、W/C=24%～20%程度の高強度コンクリートでは、潜在水硬性による強度増進よりも骨材の形状および自身強度の方が卓越し、強度が低くなると考えられる。本実験から高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは100N/mm²以上の圧縮強度を得られるが、同じ水セメント比では川砂に比べて強度が低くなる。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると次のようになる。

- (1) 高炉スラグ細骨材は、いずれも角ばっており、粒形が悪く、骨材の破碎試験において、川砂より破碎されやすい。
- (2) 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートは、水セメント比を小さくすると川砂の場合と同様に圧縮強度の増進が認められ、100N/mm²以上の強度を得られる。
- (3) 骨材を混合して使用した場合は、各々単独で使用した圧縮強度の中間の値を示す。
- (4) 高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの圧縮強度は、材齢28日では、川砂を使用した同じ調合のコンクリートに比べて小さいが、長期材齢になるとW/C=60%～40%では、川砂より大きくなる。しかし、W/C=24%～20%の超高強度コンクリートでは、長期材齢においても川砂より小さい。

参考文献

- 1) コンクリート用高炉スラグ細骨材標準化研究委員会：コンクリート用高炉スラグ細骨材標準化に関する研究報告書，日本鉄鋼連盟，1981
- 2) 依田彰彦，横室隆：高炉セメントと高炉スラグ骨材を組み合わせたコンクリートの性質について，足利工業大学研究集録，第41号，pp.45～50，2007
- 3) 依田彰彦，横室隆：混合砂コンクリートの研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp.9～10，1984
- 4) 依田彰彦，横室隆：高炉スラグ砕砂を用いたコンクリートの基本的性質について，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp.65～66，1978
- 5) 日本建築学会：高炉スラグ細骨材を用いるコンクリート施工指針（案）・同解説，丸善，1983
- 6) 長峰慎，麓隆行，山田優：モルタル性状に影響を及ぼす細骨材の物理的性質について，土木学会第56回学術講演会，pp.386～387，2001.10
- 7) コンクリート技術講習会委員会：コンクリート技術の要点'09，日本コンクリート工学協会，2009
- 8) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009，日本建築学会，2009
- 9) 田澤栄一，米倉亜州夫等：細骨材の粒形の間違がコンクリートの諸性質に及ぼす影響，コンクリート年次論文報告集，11-1，pp.35～40，1989
- 10) 日本コンクリート工学協会：コンクリート技士研修テキスト，日本コンクリート工学協会，2007
- 11) 長滝重義，沼田晋一：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの諸物性，セメント・コンクリート，No.415，pp.161～166，1981
- 12) 東京都立大学土木材料研究室：高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの長期強度，セメント・コンクリート，No.537，pp.49～53，1991

（2011年1月5日原稿受理，2011年6月13日採用決定）