

## 1. はじめに

近年、環境問題への積極的な取り組みが世界中で行われており、日本においてもその重要性は年々増してきている。都市ごみや産業廃棄物処理の問題もその中のひとつである。資源循環型のシステムへの転換が注目されつつも、依然として大量の都市ごみや産業廃棄物が発生しているのが現状である<sup>1)</sup>。これらの処理は、ダイオキシンや重金属を無害化するために、都市ごみや産業廃棄物を高温処理して熔融固化する技術が開発され一般化されつつある。しかし、残骸としてごみ熔融スラグが発生する。このスラグを有効利用することは、国内の最終処分量の抑制や循環型社会構築の形成など環境保全に大きく貢献する<sup>2)</sup>ことから、コンクリートの骨材としての利用が考えられてきた。

スラグは既に一部の無筋コンクリートや二次製品の細骨材として利用されているが、さらなる利用拡大が社会的課題となったため、鉄筋コンクリートへの利用について多くの研究が進められてきた。これまでに、スラグの置換率が大きいと、骨材表面が平滑でありセメントペーストとの付着力が低い<sup>3)</sup>ことから生じる材料分離や、細骨材の平滑なガラス質である粒子表面が原因として考えられる付着割裂強度の低下が見られる<sup>2)</sup>ことが明らかになっている。一方で、スラグが生成される工場や処理する廃棄物の種類が異なると性質も異なることから、必ずしもコンクリートへの使用可能なごみ熔融スラグばかりが存在しているわけではなく、このことはごみ熔融スラグの実用性において大きな課題である。

そこで、本研究では、スラグの置換率やスラグ自体の性質において、鉄筋コンクリートへの適用性を評価する基準を設定するため、スラグを用いた鉄筋コンクリート梁のせん断耐力を確認し、土木学会コンクリート標準示方書算定式<sup>4)</sup>が適用可能か確認する。また、細骨材をスラグに置換することによる影響を明らかにし、スラグの鉄筋コンクリート部材への利用を促進することを目的とする。

## 2. 実験概要

### (1) 実験概要

試験体は全部で6体である。まず、スラグ細骨材をコンクリートに用いた場合の材料特性を調べた。次に、4点曲げ載荷試験により、鉄筋コンクリート部材のせん断耐力を確認し、土木学会コンクリート標準示方書算定式により求めたせん断耐力算定値との比較を行った。

### (2) 使用材料

使用したスラグは、宇部市環境保全センターで、一般家庭から排出された燃やせるごみを約 1350℃の流動床式ガス化熔融方式により処理した際、生成されたものである。スラグの特徴は、表面に光沢があり、色調は黒色のガラス質である。

ごみ熔融スラグの骨材試験による化学組成および物理的性質等を表-1 示す。同表には、JIS A 5031 に示される規格値も示す。今回使用されるごみ熔融スラグは、いずれの値も規格値を満たす結果となった。

図-1 に、スラグの粒度分布を示す。同図には、コンクリートの配合に使用した砕砂および石灰砕砂の粒度分布も示す。いずれも、粒度分布、粗粒率は、ほぼ同じ結果となっている。

### (3) コンクリートの製造および配合

コンクリートの製造は、室内気温 21℃および相対湿度 73%の西部徳山生コンクリート(株)徳山工場で行った。練り混ぜは、最初にセメント、細骨材および粗骨材を 30 秒間空練りし、水と混和剤を加えて 90 秒間行った。

表-2 にコンクリートの配合および性状(スランプおよび空気量)の一覧を示す。コンクリートの配合は、土木配合(高炉スラグ B 種セメント BB-24-8-20)に細骨材としてスラグを 0%、20%、40%、60%、80%、100%置換したものの6種類とする。配合は単位水量、単位セメント量、および単位粗骨材量を全て一定とし、混和剤の添加量によってスランプおよび空気量を調整した。

表-1 骨材試験結果

試験項目		試験結果	規格値	
化学成分	酸化カルシウム(CaO)	%	27.6	45.0以下
	全硫黄(T-S)	%	0.02	2.0以下
	三酸化硫黄(SO <sub>3</sub> )	%	0.02	0.5以下
	金属鉄(Fe)	%	0.09	1.0以下
	塩化物量	%	0.01以下	0.04以下
	膨張性	%	0.01以下	2.0以下
物理的性質	絶乾密度	g/m <sup>3</sup>	2.94	2.5以上
	吸水率	%	0.09	3.0以下
	安定性	%	0.4	10以下
	粒形判定実績率	%	58.1	53以上
	微粒分量	%	2.1	7.0以下
アルカリシリカ反応(化学法)		-	無害	-

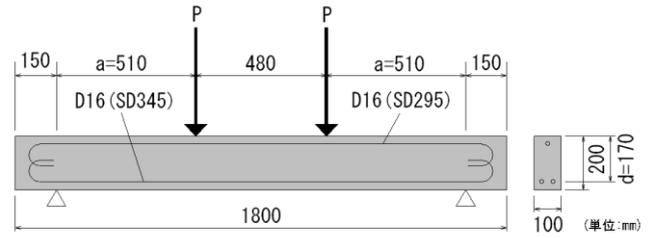


図-2 試験体の形状寸法および荷重位置

製:FLA-3-11)を引張鉄筋, 圧縮鉄筋それぞれスパン中央に貼付して行った. 貼付にあたって, 鉄筋の縦リブ部分を必要最低限切削して平滑面を設けた.

### 3. 実験結果と考察

実験により得られたスラグを, 細骨材として用いた場合のコンクリートの材料特性, および, 鉄筋コンクリート梁の力学的特性の実験結果を, スラグの有無に注目しながら以下に考察する.

#### 3.1 コンクリートの材料特性

##### (1) ブリーディング試験

図-3 に, 加圧ブリーディング測定試験の結果を示す. スラグの置換率の増加と共に, 脱水量が減少している傾向にある. これは, 今回使用したごみ熔融スラグを用いたことにより, 用いない場合のコンクリートと比較して保水性が高くなったことを示している.

##### (2) 圧縮試験結果

表-3に, 円柱供試体の圧縮試験の結果を示す. 各配合の圧縮強度の平均値は, 31.9~34.7N/mm<sup>2</sup>(平均:33.0N/mm<sup>2</sup>, 標準偏差:0.94N/mm<sup>2</sup>)と, スラグ細骨材の置換率が変化しているにも関わらず標準偏差1.0N/mm<sup>2</sup>未満となった. このことから, 圧縮強度において, ごみ熔融スラグの影響は小さいと考えられる.

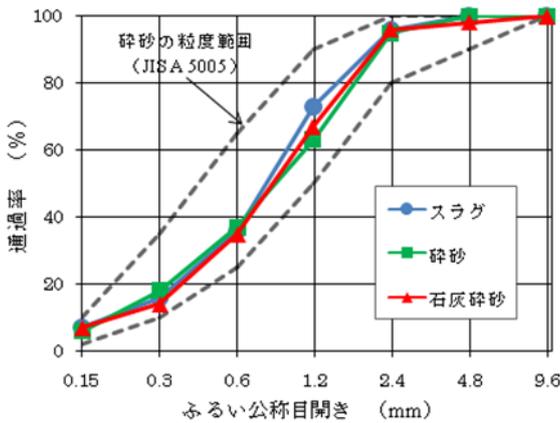


図-1 細骨材の粒度分布

#### (4) 試験体の形状寸法と諸元

図-2に, 試験体の形状寸法および荷重位置を示す. 試験体は, 全長1800mm, 幅100mm, 高さ200mm, 有効高さ170mmの複鉄筋長方形梁とし, せん断スパン比(a/d)は全て3.0とする. 各試験体には, 引張鉄筋に異形鉄筋D16(SD345)を2本, 圧縮鉄筋に異形鉄筋D16(SD295)を1本配置した.

#### (5) 荷重方法および測定項目

荷重は, 鉛直アクチュエータを使用して, 0.5mm/minの速度で4点曲げ荷重で行った. 変位は, 各試験体中央部および荷重点に変位計を設置して測定した. また, 鉄筋のひずみの測定はひずみゲージ(東京測器

表-2 コンクリートの配合および性状

配合名	W/C (%)	スラグ置換 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )										スランプ (cm)	空気量 (%)	
				水	セメント	細骨材			粗骨材		高性能		AE剤			
						砕砂A	砕砂B	スラグA	砕石A	砕石B	AE減水剤	AE剤				
BB-0	57	0	49	161	282	553	363	0	390	586	2.538	0.90%	1.13	4.0A	10.0	5.2
BB-20		20		161	282	442	290	190	390	586	2.538	0.90%	1.41	5.0A	11.0	5.5
BB-40		40		161	282	332	218	379	390	586	2.538	0.90%	1.27	4.5A	10.5	5.0
BB-60		60		161	282	221	145	569	390	586	2.538	0.90%	1.13	4.0A	8.5	5.6
BB-80		80		161	282	111	73	759	390	586	2.538	0.90%	0.99	3.5A	6.5	5.5
BB-100		100		161	282	0	0	948	390	586	4.23	1.50%	1.13	4.0A	6.0	4.4

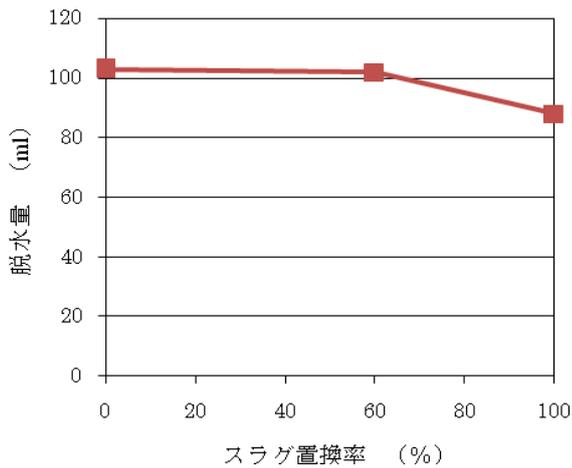


図-3 加圧ブリーディング試験の結果

表-3 コンクリートの配合および材料特性

配合	供試体番号	実験値(kN)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	平均(N/mm <sup>2</sup> )
BB-0	1	279.0	35.5	34.7
	2	260.0	33.1	
	3	278.9	35.5	
BB-20	1	247.0	31.5	32.8
	2	254.0	32.4	
	3	271.4	34.6	
BB-40	1	250.0	31.8	33.2
	2	262.0	33.4	
	3	270.7	34.5	
BB-60	1	240.0	30.6	32.0
	2	256.3	32.6	
	3	257.3	32.8	
BB-80	1	248.0	31.6	31.9
	2	254.9	32.5	
	3	248.7	31.7	
BB-100	1	251.0	32.0	33.1
	2	271.9	34.6	
	3	256.6	32.7	

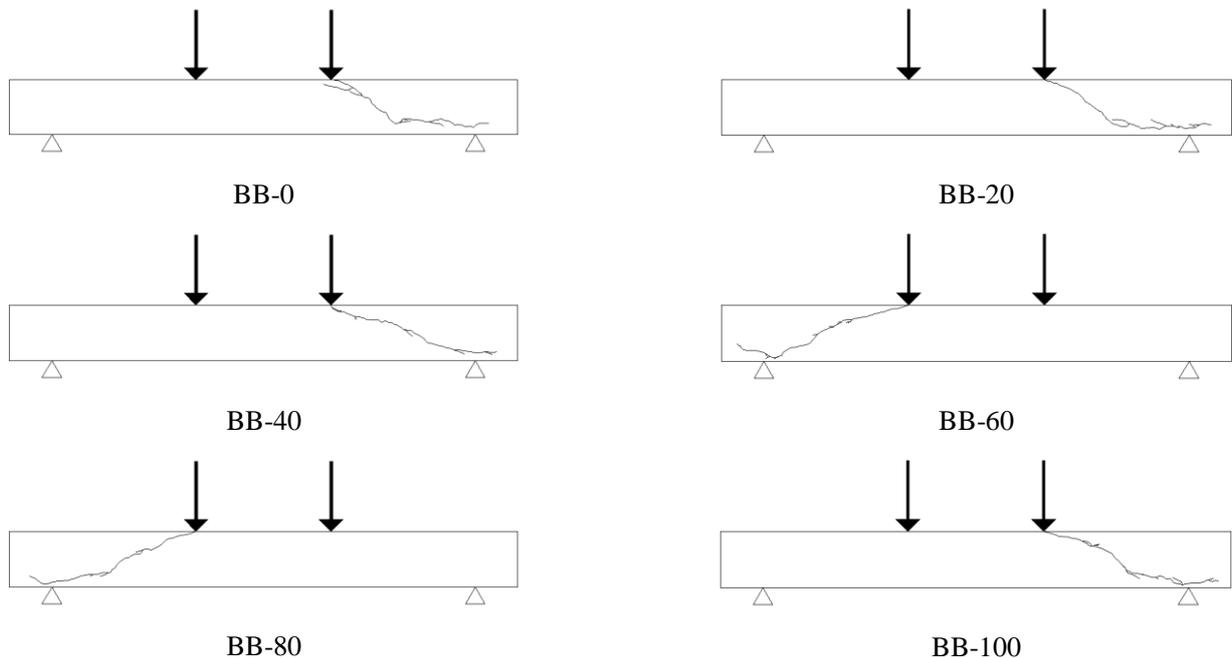


図-4 ひび割れ状況

### 3.2 鉄筋コンクリート梁の力学的特性

#### (1) 破壊性状

各試験体の終局時のひび割れ状況を図-4に示す。今回の試験において、せん断補強筋を使用していないこともあり、全ての試験体が斜めにひび割れが発生した後、破壊に至る結果となった。また、スラグの有無によるひび割れの外観上の挙動に大きな相違は見られず、ほぼ同様の破壊形式であった。

#### (2) 荷重-ひずみ曲線

図-5に引張鉄筋の荷重-ひずみ曲線を示す。全ての鉄筋は降伏せず、梁が破壊に至っていることが明らかとなった。このことは、全ての試験体でせん断

破壊に至っていることを示している。

#### (3) 荷重-たわみ曲線

鉛直荷重と梁中央部引張縁におけるたわみとの関係を図-6に示す。各試験体とも斜めひび割れ発生時に一度荷重が低下しているが、その後、終局破壊するまで再び荷重が増加することが確認された。

ごみ熔融スラグの置換率が大きい場合において、斜めひび割れ発生荷重より最大荷重の方が大きくなる傾向にある。これは、今回用いたスラグがガラス質であったため、一般の細骨材と比較して、骨材どうしの噛み合わせが良くなったことにより、最大荷重が増加した可能性が考えられる。

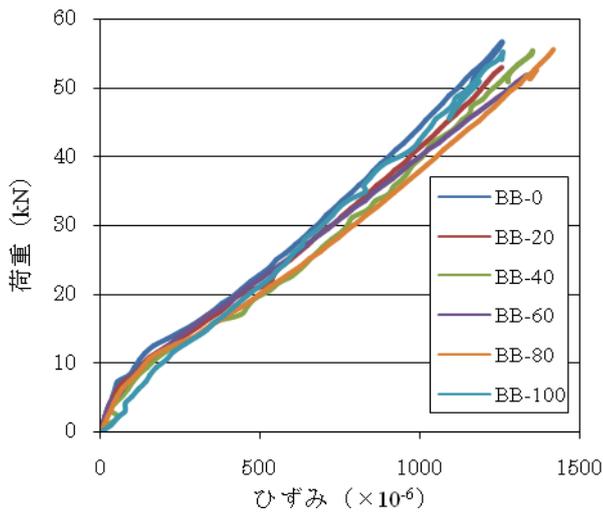


図-5 荷重-ひずみ曲線

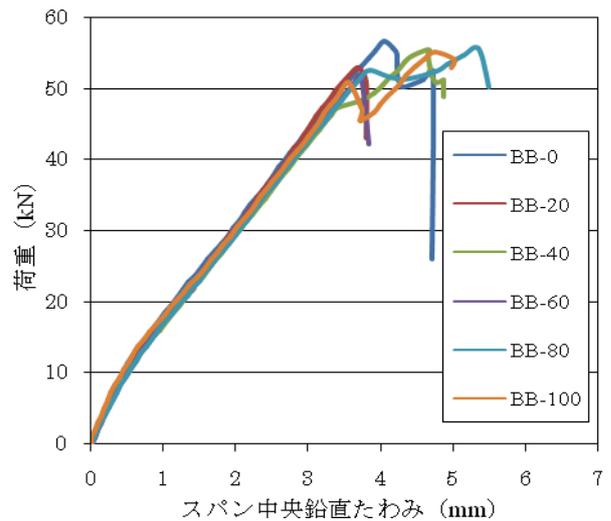


図-6 荷重-たわみ曲線

表-4 コンクリートの配合および性状

試験体番号	梁のせん断耐力(kN)			実験値/理論値	破壊形式
	計算値	実験値			
		斜めひび割れ発生荷重	最大荷重		
BB-0	49.21	56.7	56.7	1.15	せん断破壊
BB-20	48.30	52.98	52.98	1.10	せん断破壊
BB-40	48.49	55.47	55.47	1.14	せん断破壊
BB-60	47.90	51.81	51.81	1.08	せん断破壊
BB-80	47.85	52.62	55.68	1.16	せん断破壊
BB-100	48.45	50.82	55.2	1.14	せん断破壊

#### (4) せん断耐力

実験により得られた結果と、土木学会コンクリート標準示方算定式により得られたせん断耐力算定値を表-4に示す。比較の対象とした実験値は、最大荷重を用いた。

各試験体の比較値は、いずれも1.0を上回ることが確認された。このことから、今回用いたスラグを鉄筋コンクリートの細骨材に代替した場合でも、従来の算定式により安全側に算出できると考えられる。

#### 4. まとめ

今回使用した、山口県宇部市環境保全センターで生成されたごみ熔融スラグをコンクリートの細骨材に用いた場合において、本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) スラグ混入量が増加するに従いコンクリートのブリーディング量が減少する。
- (2) コンクリート圧縮強度に及ぼすスラグの影響は小さい。

(3) スラグ混入による鉄筋コンクリート梁のせん断耐力の低下は確認されなかった。

(4) 鉄筋コンクリート梁のせん断耐力は土木学会コンクリート標準示方算定式で適応可能であると思われる。

上記の点から今回使用した宇部市のスラグはコンクリートの細骨材として適用可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1)松家武樹, 堺孝司, 中村俊之, 草薙悟志: 産業廃棄物スラグを用いた鉄筋コンクリート梁の曲げおよびせん断耐荷挙動, 土木学会論文集E, Vol.63, No.1, 159-173, 2006.
- 2)高橋幸裕, 師橋憲貴, 桜田智之: ごみ熔融スラグと再生粗骨材を併用した RC 梁部材の構造特性に関する実験研究—その 1 骨材特性と付着性状—, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp.1197-1198, 2008年9月
- 3)田中礼治, 北辻政文, 東海隼人, 大芳賀義喜: ごみ熔融スラグを細骨材にした再生コンクリートを用いたはり部材に関する実験研究(再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造に関する研究—その 4—), 日本建築学会構造系論文集, 第 511 号, pp.103-109, 2002年9月
- 4)土木学会: コンクリート標準示方書・構造性能照査, 2002.