

下水汚泥溶融スラグのコンクリート用粗骨材 への適用性および品質に関する研究

井上真澄* Carlos Aquino** 武田字浦*** 岡本享久****

A Study on the Application and Quality of Sewage Sludge Molten Slag Coarse Aggregate for Concrete

by

Masumi INOUE* Carlos AQUINO** Naho TAKEDA*** and Takahisa OKAMOTO****

This study was carried out to examine the application of sewage sludge molten slag as coarse aggregate for concrete and the influence of the quality of molten slag on the mechanical properties of concrete. As a result, it was clarified that the mechanical properties of concrete by using molten slag coarse aggregate depended on the quality of molten slag. The concrete by using molten slag coarse aggregate which was good strength had performance equivalent to normal aggregate concrete. In the quality standard of molten slag for concrete, it is necessary to provide not only the density and water absorption but also the standard related to the strength of aggregate.

Key words: Sewage sludge molten slag, coarse aggregate, strength, freeze-thaw resistance, crushing value, percentage of abrasion

1 緒 言

コンクリートにおいて骨材は約7割以上の体積を占め、フレッシュコンクリートの性状や硬化コンクリートの物性に影響を及ぼす要因として広く認識されている。骨材としては、これまで全国各地に豊富に存在した川砂利や川砂が古くから使用されてきたが、近年環境保全に係る問題や資源の有効利用といった課題に直面し、再生骨材や副産物を起源とする骨材の有効利用に向けた取り組みが活発となっている。

一方、近年の下水道普及率の向上に伴い、下水汚泥の発生量が全国規模で年々増加傾向にある。下水汚泥は、下水処理後に発生する汚泥を粘土状（ケーキ状）に脱水処理したものであり、産業廃棄物として埋立て処理されているのが現状である。しかし、残余年数が逼迫する最終処分場への負荷を軽減するためにも、下水汚泥の減量化あるいは資源化が望まれている。そうした状況に対応して、最終処分量を減らすために溶融固化設備が導入されてきた。

溶融固化設備より排出される下水汚泥溶融スラグ（以下、溶融スラグと称す）を有効利用することは、最終処分場の延命策の一つとして有効である。同時にコンクリート用骨材として様々な用途に利用することが可能となれば、資源の枯渇や骨材採取に伴う環境破壊の抑制に

もつながり、その意義は非常に大きい。近年、下水汚泥や廃棄物を起源とした溶融スラグの骨材への適用性については多方面で研究開発^{1)~6)}されており、2006年にはコンクリート用骨材としてJIS A 5031（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材）が制定されている。

溶融スラグをコンクリート用粗骨材として使用した場合には、非晶質の溶融スラグを用いるとコンクリートの強度や耐久性が著しく低下する¹⁾。一方で、結晶化した溶融スラグであれば普通砕石コンクリートと同等以上の強度を発揮する³⁾⁴⁾など、溶融スラグの品質がコンクリートの強度や耐久性に及ぼす影響は大きいと考えられる。しかし、その溶融スラグの品質の違いがコンクリートとしての物理的性質に与える影響について詳細な検討を行った研究成果は見当たらない。また、現在のJISには、溶融スラグ粗骨材の品質規定値として密度、吸水率、安定性などが挙げられているが、その他にも骨材強度やセメントペースト界面の付着性状などの影響も無視できないと考えられ、溶融スラグ粗骨材の品質基準の最適化が望まれる。

本研究では、下水汚泥溶融スラグの粗骨材への適用に着目し、その品質がコンクリートの強度や耐久性に与える影響を実験的に検討した。これにより、溶融スラグ粗

+ 原稿受理 平成 年 月 日 Received

* 正 会 員 北見工業大学工学部社会環境工学科 〒090-8507 北見市公園町, Dept. of Civil and Env. Eng., Kitami Inst. of Tech., Koencho, Kitami, 090-8507

** 非 会 員 立命館大学大学院理工学研究科 〒525-8577 草津市野路東, Graduate School of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ., Nojihigashi, Kusatsu, 525-8577

*** 正 会 員 明石工業高等専門学校都市システム工学科 〒674-8501 明石市魚住町, Dept. of Civil Eng., Akashi National College of Tech., Uozumicho, Akashi, 674-8501

**** 正 会 員 立命館大学理工学部環境システム工学科 〒525-8577 草津市野路東, Dept. of Env. Systems Eng., Ritsumeikan Univ., Nojihigashi, Kusatsu, 525-8577

Table 1 Mechanical properties of sewage sludge molten slag coarse aggregates.

Series (Slag)	Melting solidification facility	Surface-dry density (g/cm ³)	Absolute-dry density (g/cm ³)	Fineness modulus	Water absorption (%)	Bulk density (kg/l)	Solid content (%)	Soundness (%)	Percentage of abrasion (%)	Crushing value* ³ (%)
I	A	2.65	2.60	6.52	2.16	1.52	58.5	0.7	43.6	41.1
II	B	2.48	2.44	6.57	0.69	1.41	57.4	1.7	28.2	22.7
III	B	2.64	2.60	6.52	0.90	1.45	57.0	0.3	23.6	21.5
Standard-1* ¹		—	≥2.50	—	≤3.00	—	—	≤12	—	—
Standard-2* ²		—	≥2.50	—	≤3.00	—	≥55.0	≤12	≤40.0	—

Note ; *1 : JIS A 5031 (Melt-solidified slag aggregate for concrete derived from municipal solid waste and sewage sludge)

*2 : JIS A 5005 (crushed stone and sand for concrete aggregate)

*3 : British Standard. B.S. 812



Fig.1 Sewage sludge molten slag coarse aggregate.

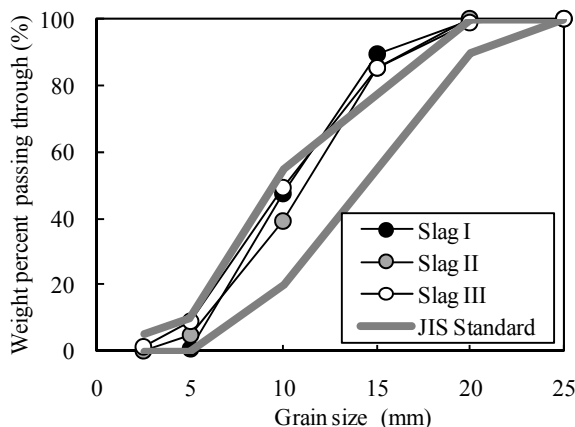


Fig.2 Grain size distribution of molten slag coarse aggregate.

骨材の品質とコンクリートの性能との関係が明確となり、溶融スラグ粗骨材の品質基準の最適化や溶融スラグの更なる有効利用促進に向けた資料となり得る結果が得られたことから、これを報告する。

2 実験概要

2.1 下水汚泥溶融スラグ粗骨材

本研究では、3種類の溶融スラグを研究対象とした。溶融スラグは、滋賀県内の2つの溶融固化施設(A・B)から製造された空冷スラグである。いずれの空冷スラグも、汚泥ケーキを流動床式焼却炉および回転式溶融炉により1400~1450℃で加熱溶融し自然冷却したものである。その後、粉碎して5~20mmに粒度調整したものを使用した。

Fig.1には各溶融スラグの粒子の写真を示す。スラグIは、A施設において製造されたものであり、ガラス質の光沢が目立ち、粒子表面は平滑で凹凸が少ないことがわかる。一方、スラグIIとIIIは、B施設において製造されたものであり、粒子表面に凹凸が見られ、外見上は碎石に類似している。また、スラグIIは、他の溶融スラグ

Table 2 Chemical composition of molten slag.

Item	Slag I	Slag II	Slag III	JIS standard
CaO (%)	17.6	21.7	17.4	≤45
S (%)	0.03	0.03	0.03	≤2.0
SO ₃ (%)	0.07	<0.1	<0.1	≤0.5
Fe (%)	<0.1	<0.1	<0.1	≤1.0
NaCl (%)	<0.01	<0.001	<0.001	≤0.04

Table 3 Results of organic matter elution test.

Item	Slag I	Slag II	Slag III	JIS standard
Cd (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	≤0.01
Pb (mg/L)	<0.005	<0.001	<0.001	≤0.01
Cr ⁶⁺ (mg/L)	<0.02	<0.005	<0.005	≤0.05
As (mg/L)	<0.005	0.006	0.007	≤0.01
Hg (mg/L)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	≤0.0005
Se (mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	≤0.01
F (mg/L)	<0.09	<0.1	<0.1	≤0.8
B (mg/L)	<0.1	<0.1	<0.1	≤1.0

Note ; Test method : JIS K 0058-1

Table 4 Results of organic matter content test.

Item	Slag I	Slag II	Slag III	JIS standard
Cd (mg/kg)	0.75	<1	<1	≤150
Pb (mg/kg)	32	19	17	≤150
Cr ⁶⁺ (mg/kg)	<2	<1	<1	≤250
As (mg/kg)	10.8	5	7	≤150
Hg (mg/kg)	<0.02	<0.1	<0.1	≤15
Se (mg/kg)	<0.2	<1	<1	≤150
F (mg/kg)	52	78	35	≤4000
B (mg/kg)	91	32	22	≤4000

Note ; Test method : JIS K 0058-2

に比較して、粒子表面に多くの気泡を含んでいることがわかる。このように同じ下水汚泥を起源とした溶融スラグであっても、溶融固化施設が異なることや溶融温度等運転状況により溶融スラグの外観も異なる。

Table 1に溶融スラグ粗骨材の物理的性質とJIS規格値を示す。表中の破砕値については、英国規格B.S.812に準じ、粒径15~10mmに調整した乾燥試料を用いて測定した。スラグIとIIIは、絶対乾密度が2.60g/cm³とJIS規格を満足しているのに対して、スラグIIは2.44g/cm³とJIS規格を下回っている。吸水率は、スラグIが最も大きいJISの規格値は満足した。一方、すりへり減量や破砕値については、スラグIがいずれも最も大きな値を示しており、骨材強度が他の溶融スラグよりも低い。スラグIは、前述のように外見上もガラス質であることがこれを裏付けている。その他、化学法によるアルカリシリカ反応性は全溶融スラグで無害、モルタル膨張率試験においても同じく基準値を満足していた。

Table 5 Mechanical properties of aggregates (except for molten slag).

	Series (Slag)		Surface-dry density (g/cm ³)	Absolute-dry density (g/cm ³)	Fineness modulus	Water absorption (%)	Bulk density (kg/l)	Solid content (%)	Percentage of abrasion (%)	Crushing value (%)
Fine aggregate	I	River sand	2.60	2.56	2.73	1.56	1.65	64.5	—	—
	II	Crushed sand	2.62	2.57	2.78	2.10	1.66	64.7	—	—
	III		2.64	2.60	2.75	2.00	1.66	63.9	—	—
Coarse aggregate	I	Crushed stone	2.70	2.68	6.80	0.70	1.61	60.1	11.4	15.1
	II		2.67	2.65	6.74	0.62	1.58	59.1	9.8	9.0
	III		2.64	2.62	6.75	1.26	1.59	60.8	11.2	10.4

Table 6 Mix proportions for concrete.

Series (Slag)	Symbol	W/C (%)	Slag content (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					Ad ₁ (ml/m ³)	Ad ₂ (ml/m ³)	Slump (cm)	Air (%)
					W	C	S	G	MG				
I	50-0	50	0	44.0	167	334	780	927	0	835	1336	8.0	5.5
	50-25		25					695	223	835	1336	8.5	4.6
	50-50		50					463	446	752	1202	7.0	4.3
	50-75		75					232	669	668	668	8.0	4.7
	50-100		100					0	892	585	0	6.5	3.8
II	50-0	50	0	44.7	176	352	782	986	0	1126	2253	6.5	3.6
	50-30		30					690	275	1126	1760	7.0	5.1
	50-50		50					492	458	1056	1408	7.0	4.0
	50-75		75					0	916	1760	0	7.0	6.0
	50-100		100					0	986	986	1591	8.0	4.5
III	55-0	55	0	45.0	175	318	807	986	0	636	1591	9.5	5.6
	55-25		25					740	247	636	1591	9.5	5.8
	55-50		50					493	493	795	1591	8.0	4.4
	55-75		75					0	986	986	1591	8.0	4.5
	55-100		100					0	986	986	1591	8.0	4.5

Note ; Ad₂ is 1% solution.

Fig.2 に各種溶融スラグ粗骨材の粒度分布を示す。各溶融スラグは若干粒度が小さい傾向にあるが、概ねコンクリート用砕石の粒度規格を満たした。

Table 2 に化学成分を示す。JIS A 5031 には、コンクリートに有害な影響を与えるものとして、酸化カルシウム (CaO)、全硫黄 (S)、三酸化硫黄 (SO₃)、金属鉄 (Fe)、塩化物量 (NaCl) が挙げられている。本研究で対象とした溶融スラグは、全項目にて規定値を下回っており、化学的に安全な溶融スラグと評価できる。

Table 3 に溶融スラグからの有害物質の溶出量を、Table 4 に有害物質の含有量を示す。JIS A 5031 では、環境庁告示第 46 号「土壌の汚染に係る環境基準について」と同等の規定を定めている。溶出量および含有量ともに、全ての項目について土壌基準値以下であり、本研究で対象とする溶融スラグは安全であると評価できる。

2・2 使用材料

本実験における検討は、溶融スラグの種類別に 3 つのシリーズから構成される。セメント[C]には全シリーズにおいて、普通ポルトランドセメント (密度 : 3.16g/cm³) を使用した。Table 5 に各シリーズにおいて使用した骨材 (溶融スラグ以外) の物性値を示す。全シリーズとも基準とする粗骨材は砂岩砕石 2005 とした。細骨材については、シリーズ I では川砂を、シリーズ II と III では砂岩砕砂を使用した。混和剤には全シリーズにおいて、AE 減水剤[Ad₁] (密度 : 1.10g/cm³, 主成分 : リグニンスルホン酸化合物) と AE 助剤[Ad₂] (密度 : 1.19g/cm³, 主成分 : アルキルアシルスルホン酸化合物) を使用した。

2・3 コンクリートの配合

Table 6 にコンクリートの配合を示す。本実験では、普

Table 7 Test items.

Test	JIS	Size of specimen
Slump	JIS A 1101	—
Air	JIS A 1128	—
Compressive strength	JIS A 1108	φ 100×200mm
Modulus of rupture	JIS A 1106	100×100×400mm
Tensile strength	JIS A 1113	φ 150×150mm
Modulus of elasticity	JIS A 1149	φ 100×200mm
Freezing and thawing	JIS A 1148	100×100×400mm

通強度コンクリートを対象として配合を決定した。スラグ I を用いたシリーズ I では水セメント比を 50%、溶融スラグの置換率 (容積比、以下ではスラグ置換率と称す) を 0, 25, 50, 75, 100% の 5 水準、スラグ II を用いたシリーズ II では水セメント比を 50%、スラグ置換率を 0, 30, 50, 100% の 4 水準、スラグ III を用いたシリーズ III では水セメント比を 55%、スラグ置換率は 0, 25, 50, 100% の 4 水準とした。全配合で目標スランプは 7.5±2cm、空気量は 4.5±1% とし、混和剤により調整した。

2・4 試験項目

Table 7 に試験項目を示す。フレッシュコンクリートのスランプ、空気量は JIS に準拠して行った。コンクリート供試体は、打設後材齢 1 日で脱型し、所定の試験材齢まで水中養生 (20±1℃) を行った。硬化コンクリートの各種試験は、JIS に準拠して行った。凍結融解試験は、供試体を材齢 28 日まで水中養生 (20±1℃) を行った後、300 サイクルまで外観観察、質量減少率、動弾性係数の測定を行った。

3 実験結果および考察

3・1 各種強度および静弾性係数

Table 8 に各種強度試験および静弾性係数試験結果を

Table 8 Compressive strength, tensile strength, flexural strength and modulus of elasticity.

Series (Slag)	Symbol	W/C (%)	Slag Content (%)	Compressive strength (N/mm ²)			Tensile strength f_{t28} (N/mm ²)	Bending strength f_{b28} (N/mm ²)	Modulus of elasticity E_{c28} (kN/mm ²)
				f'_{c7} (7days)	f'_{c28} (28days)	f'_{c91} (91days)			
I	50-0	50	0	31.5 [1.00]	42.6 [1.00]	47.4 [1.00]	3.21 [1.00]	5.83 [1.00]	31.8 [1.00]
	50-25		25	29.2 [0.93]	39.8 [0.93]	44.8 [0.95]	3.26 [1.02]	5.35 [0.92]	31.1 [0.98]
	50-50		50	27.7 [0.88]	37.4 [0.88]	41.5 [0.87]	2.57 [0.80]	4.57 [0.78]	31.5 [0.99]
	50-75		75	26.9 [0.85]	36.2 [0.85]	40.8 [0.86]	2.36 [0.74]	4.36 [0.75]	28.5 [0.90]
	50-100		100	26.9 [0.85]	39.5 [0.93]	45.8 [0.97]	2.74 [0.85]	4.44 [0.76]	31.3 [0.98]
II	50-0	50	0	35.8 [1.00]	43.4 [1.00]	49.0 [1.00]	3.55 [1.00]	5.61 [1.00]	34.8 [1.00]
	50-30		30	37.7 [1.05]	42.9 [0.99]	49.4 [1.01]	3.69 [1.04]	5.62 [1.00]	32.1 [0.92]
	50-50		50	36.9 [1.03]	43.9 [1.01]	51.6 [1.05]	3.84 [1.08]	6.85 [1.22]	30.5 [0.88]
	50-100		100	41.1 [1.15]	49.0 [1.13]	53.8 [1.10]	4.26 [1.20]	6.78 [1.21]	34.4 [0.99]
III	55-0	55	0	27.9 [1.00]	34.5 [1.00]	35.2 [1.00]	3.00 [1.00]	5.45 [1.00]	23.5 [1.00]
	55-25		25	26.3 [0.94]	35.4 [1.03]	—	3.16 [1.05]	5.71 [1.05]	23.6 [1.01]
	55-50		50	26.6 [0.95]	35.8 [1.04]	36.5 [1.04]	2.95 [0.98]	5.90 [1.08]	25.2 [1.07]
	55-100		100	27.4 [0.98]	36.2 [1.05]	39.4 [1.12]	3.36 [1.12]	5.99 [1.10]	27.6 [1.18]

Note ; [] : Strength and modulus of elasticity ratio to normal concrete

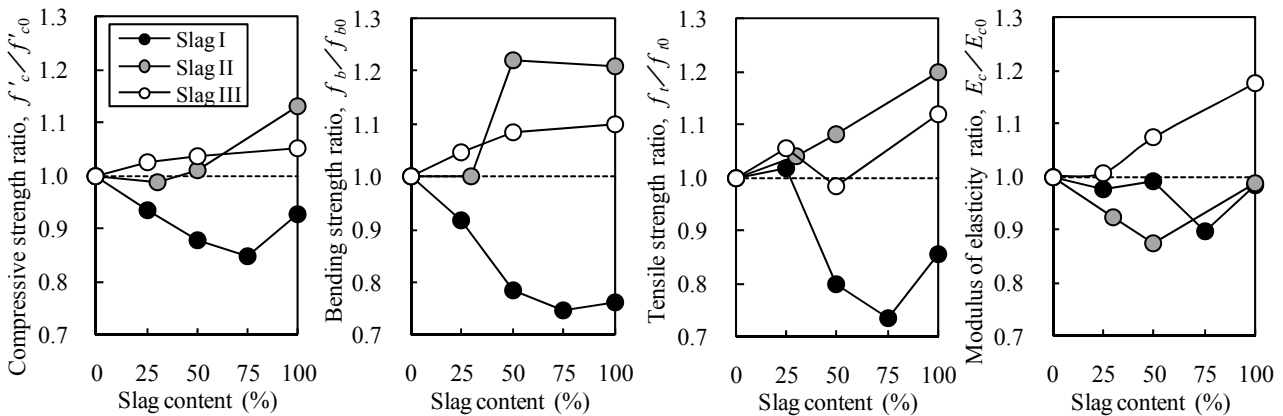


Fig.3 Strength and modulus of elasticity ratio to normal concrete (28days).

示す。また、Fig.3には強度比および静弾性係数比とスラグ置換率の関係を示す。強度比および静弾性係数比とは、スラグ無置換の普通コンクリートの強度および静弾性係数を1としたものである。

スラグ I ではスラグ置換率の増加に伴って、各種強度や静弾性係数が明確に低下する傾向を示している。材齢 28 日の圧縮強度で最大 15%の強度低下、曲げ強度および割裂引張強度では最大 25%程度の強度低下を示した。スラグ I は、密度や吸水率は JIS 規定値を十分に満足するが、その外観が示すようにガラス質で骨材強度が低いことがコンクリートの強度低下を招いた原因と考えられる。特に、曲げ強度と割裂引張強度での強度低下率が大きいのは、熔融スラグ単体の強度特性だけでなく、熔融スラグ表面が平滑であるためセメントペーストとの付着性状が悪いことが影響していると考えられる。

一方、スラグ II および III については、スラグ I とは傾向が異なり、各種強度はスラグ置換率 0%に比較して同等以上の強度発現が得られた。特にスラグ II は、密度が小さく JIS 規定値を満足していないにもかかわらず、材齢 28 日の圧縮強度で最大 13%の強度増加、曲げ強度と割裂引張強度では最大 20%程度の強度増加を示した。

静弾性係数については、各種強度が示す強度変化とは若干傾向が異なる。各種強度面では良好なデータを示し

たスラグ II において、スラグ置換率 0%に対して最大 12%低下した。スラグ II は、その外観において骨材粒子表面に数多くの気泡を含んでいることを確認している。密度も低い値を示していることから内部にも多くの気泡を含有していると考えられ、骨材単体のひずみ量が大きかったことによるものと推察される。

3・2 凍結融解抵抗性

Fig.4に相対動弾性係数の経時変化を示す。スラグ I では、スラグ置換率の増加に伴い、相対動弾性係数が低下する傾向にある。スラグ置換率 100%では、相対動弾性係数が 70%を下回った。これは、スラグ I の吸水率が大きく、熔融スラグの置換率の増加に伴い凍結可能水量が増加したこと、および熔融スラグ単体の骨材強度が低いことが原因と考えられる。一方のスラグ II および III においては、スラグ置換率の増加に伴う相対動弾性係数の低下は小さいものであり、熔融スラグを 100%置換した場合であっても 300 サイクルまで 90%以上の相対動弾性係数を示した。

3・3 熔融スラグの品質に関する評価

熔融スラグ粗骨材を用いたコンクリートの力学的特性に関する検討より、熔融スラグの物理的性質がコンクリートの強度や耐久性に及ぼす影響は大きいことが明らかとなった。また、熔融スラグ単体の骨材強度に優れ

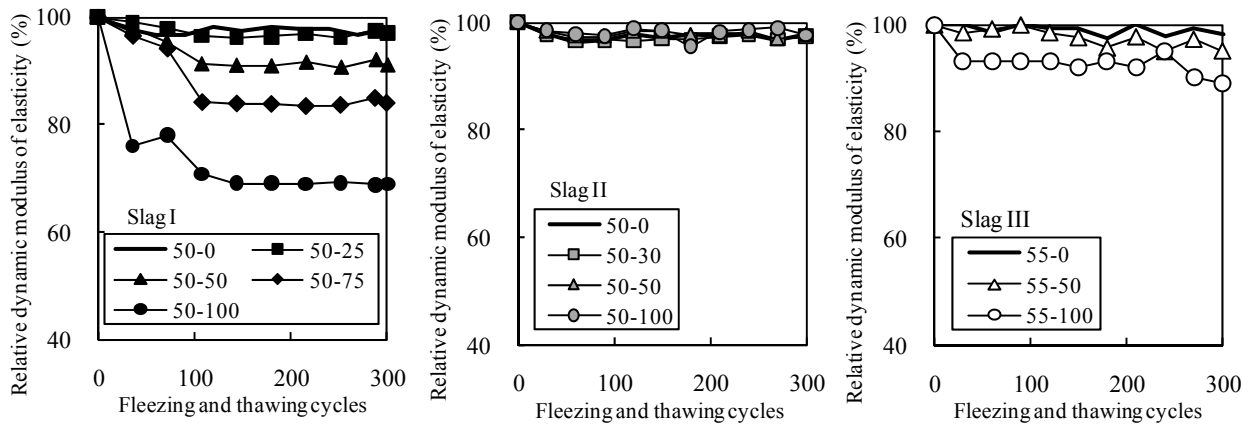


Fig.4 Results of freezing and thawing test.

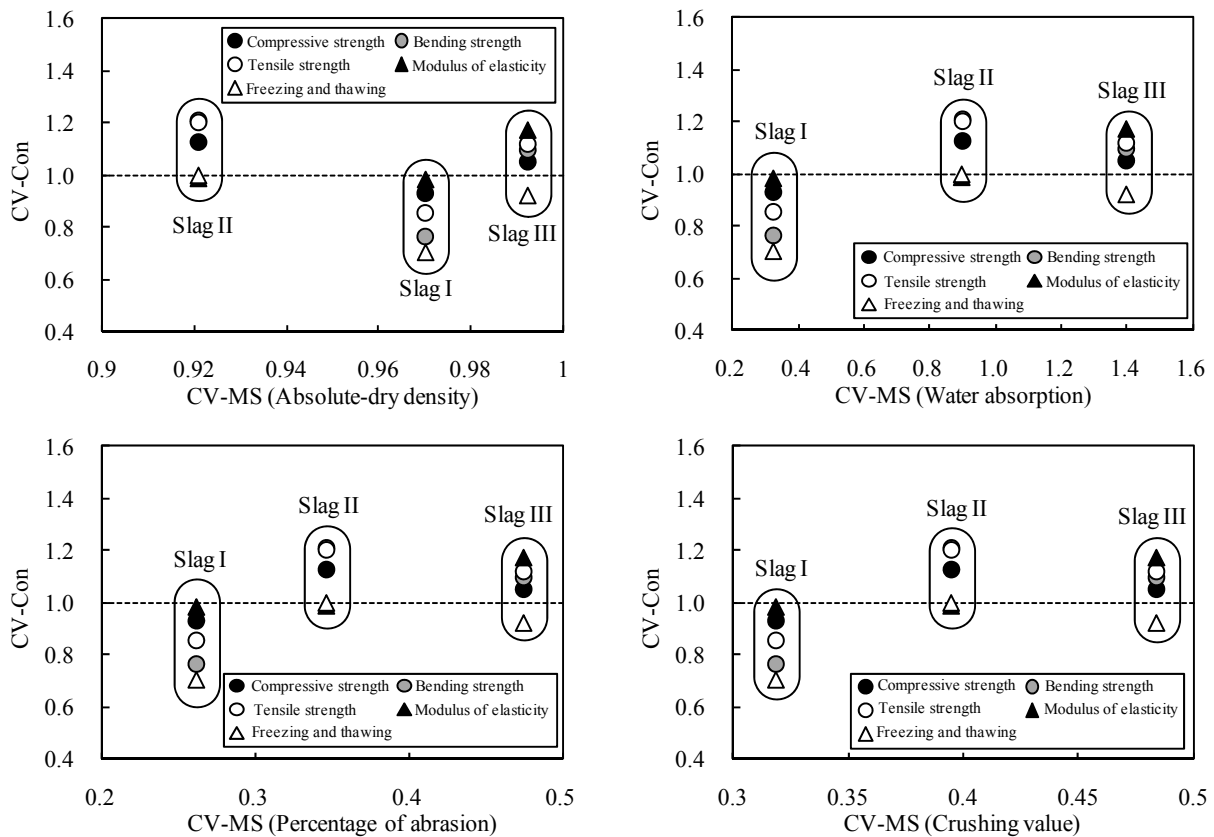


Fig.5 Relationship between CV-Con and CV-MS.

るスラグ II や III を使用した場合には、砕石を用いた普通コンクリートと同等以上の性能を有していた。ここでは、熔融スラグ粗骨材の各種特性と熔融スラグ粗骨材を用いたコンクリートの各種性能との関係について詳細な検討を行い、熔融スラグ粗骨材の品質指標の最適化について考察を行った。

Fig.5 に熔融スラグを用いたコンクリートの各種性能値と熔融スラグの各種性能値の関係を示す。ここで、コンクリートの性能値 (CV-Con : Characteristic Value of Concrete) とは、粗骨材に砕石を使用したコンクリート (以下、基準コンクリートと称す) の実験値 (材齢 28 日) を各種性能の基準値として、熔融スラグ粗骨材を 100% 置換したコンクリートの実験値 (材齢 28 日) を相

対的に換算した数値である。例えば、コンクリートの引張強度 f_{28} の性能値 $CV-Con-f_{28}$ は以下の式で計算した。

$$CV-Con-f_{28} = f_{28-100\%} / f_{28-0\%} \quad (1)$$

ここで、 $f_{28-100\%}$ は熔融スラグ 100% 置換コンクリートの引張強度、 $f_{28-0\%}$ は基準コンクリートの引張強度である。スラグ II を用いたコンクリートの場合、Table 8 より $f_{28-100\%} = 4.26 \text{ N/mm}^2$ 、 $f_{28-0\%} = 3.55 \text{ N/mm}^2$ であるから、性能値は 1.20 となる。

一方、熔融スラグの性能値 (CV-MS : Characteristic Value of Molten Slag) とは、Table 5 に示す砕石の各種物性値を基準として、Table 1 に示す熔融スラグの物性値を相対的に換算した数値である。例えば、熔融スラグの絶乾密度 ρ に関する性能値 (CV-MS- ρ) は次式で計算した。

$$CV-MS-\rho = \rho_{MS} / \rho_{CS} \quad (2)$$

ここで、 ρ_{MS} は熔融スラグの絶乾密度、 ρ_{CS} は砕石の絶乾密度である。スラグIIの場合、Table1より $\rho_{MS}=2.44\text{g/cm}^3$ 、Table5より $\rho_{CS}=2.65\text{g/cm}^3$ であるから、性能値は0.92となる。なお、熔融スラグの吸水率、すりへり減量および破砕値に関する性能値については、換算した数値の逆数をとった。したがって、コンクリートおよび熔融スラグの全性能値は、その値が高いものほど高品質であることを意味する。

一般に骨材の品質指標として使用されている絶乾密度や吸水率は、コンクリートの強度や耐久性との相関が高いと考えられるが、本実験で対象とした3種類の熔融スラグに関しては絶乾密度とのその相関は認められない。Fig.5に示すスラグIIの場合、熔融スラグの絶乾密度に関する性能値が低い、すなわち骨材密度が小さい熔融スラグであってもコンクリートの性能値は概ね1.0以上と良好な値を示している。逆にスラグIでは絶乾密度の性能値が0.92と砂岩砕石と同等の絶乾密度を有しながらコンクリートの性能値は全て1.0を下回っており、強度および耐久性が低下している。

一方、すりへり減量および破砕値の性能値に着目すると、若干の変動はあるものの性能値が高まることによって、コンクリートの各種性能値も高まる傾向が認められる。スラグIIとIIIを比較した場合には、すりへり減量および破砕値に差異はあるものの、コンクリートの各種性能値はスラグIIIの凍結融解抵抗性を除けばいずれも概ね1.0以上を示しており、基準コンクリートと同等以上の性能を有している。これは、コンクリート用粗骨材として熔融スラグの適用性を判断する指標として、密度や吸水率よりもすりへり減量や破砕値による評価が適することを示している。したがって、基準コンクリートと同等以上の性能が得られたスラグIIおよびIIIの物理的性質（Table2参照）から、すりへり減量で28%以下、破砕値で22%以下といった骨材性状に関する共通条件は、熔融スラグを対象とした密度および吸水率を補う品質指標の目安として評価できると考えられる。

以上から、熔融スラグ粗骨材を用いたコンクリートの諸性能と熔融スラグの諸性能には関係が認められるとともに、熔融スラグの特性を考慮した品質指標と基準値の必要性が伺える。コンクリートとしての性能を踏まえた熔融スラグの品質指標として、特に骨材強度に関する特性の把握が重要であると考えられる。

4 結 言

本研究では、下水汚泥熔融スラグの粗骨材への適用に着目し、その品質がコンクリートの強度や耐久性に与える影響を実験的に検討した。

以下に、本研究で得られた結果をまとめる。

- (1) 熔融スラグ粗骨材の物理的性質がコンクリートの各種強度および耐久性に及ぼす影響は大きい。
- (2) 骨材強度に優れる熔融スラグを粗骨材として使用

したコンクリートは、砕砂砕石を使用した普通コンクリートと同等以上の性能を有していた。

- (3) 熔融スラグのコンクリート用粗骨材としての品質管理や評価に関しては、単に密度や吸水率だけに依存するのではなく、骨材の強度に関係する品質指標の設置が必要である。

本研究から、熔融スラグの物理的性質として、骨材強度に起因する品質がコンクリートの性能に大きく影響していることが明らかとなった。今後は、熔融スラグの品質管理基準に関する究明と具現化が緊急の課題である。同時に、その品質指標をもとに熔融スラグをクラス分けし、クラス毎の適用範囲や最適なスラグ置換率を検討していくことが熔融スラグの有効利用拡大に向けて重要であると考えている。

参考文献

- 1) K. Nemoto, Y. Hara, "Molten slag as aggregate", Proceedings of the Annual Conference of the Japan Society of Waste Management Experts, Vol.9, No.1, pp.436-439(1998).
- 2) M. Kitatsuji, K. Fujii, "Properties of concrete using melting slag from municipal solid waste as fine aggregate", Transactions of the Japan society of irrigation, drainage and rural engineering, No.200, pp.59-67(1999).
- 3) T. Saito, K. Nishida, J. Mochizuki and Y. Nara, "Effects of crystallized domestic waste slag recycled aggregate on concrete properties", Proceedings of the Japan concrete institute, Vol.22, No.2, pp.289-295(2000).
- 4) T. Saito, Y. Hara, H. Yoda, K. Nishida, J. Mochizuki and Y. Nara, "Experimental study on properties of concrete made of molten slag aggregate from domestic waste", AIJ Journal of technology and design, No.15, pp.5-10(2002).
- 5) T. Saito, H. Sato, N. Taniyama, A. Nemoto and H. Ikenaga, "Study on properties of concrete using surface-modified molten slag fine aggregate originated from domestic wastes", Journal of structural and construction engineering, No.589, pp.1-6(2005).
- 6) Y. Sagawa, Y. Kawabata, H. Matsushita, J. Miyake and S. Hirai, "A study on utilization of molten slag of municipal solid waste as fine aggregate for concrete", Journal of Japan society of civil engineers, No.802/V-69, pp.171-180(2005).
- 7) T. Matsuka, K. Sakai, W. Nishigori, T. Yokoyama, Y. Nishimoto and S. Onodera, "Effect of rubbing-reformation in application of various molten slag to concrete", Journal of Japan society of civil engineers, Vol.62, No.1, pp.174-185(2006).