下水汚泥溶融スラグ粗骨材の有効利用に関する研究

立命館大学理工学部　学生員　○三浦　弘明
正会員　武田　宇浦
正会員　井上　真澄
正会員　岡本　享久
正会員　児島　孝之

1. はじめに

本研究では、下水汚泥溶融スラグ（以下、汚泥スラグ）をコンクリート用粗骨材として有効利用することを目的とする。汚泥スラグ粗骨材の最適置換率を明らかにするとともに、スラグ置換率がコンクリートの物性および破壊力学特性に及ぼす影響について実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および示方配合

コンクリートの使用材料を**表 2.1** に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材は川砂、粗骨材は砕石および汚泥スラグを使用した。本実験で使用した汚泥スラグは、滋賀県湖南中部浄化センター汚泥溶融設備で製造された空冷スラグである。

コンクリートの示方配合を**表 2.2** に、破壊エネルギー試験用コンクリートの示方配合を**表 2.3** に示す。既往の研究[1)]では、スラグ置換率が 25%以上で顕著な強度低下が報告されている。そこで本研究ではスラグ置換率を 0、5、15、25%（容積比）の 4 水準とした。水セメント比は 30%、50%とした。

表 2.1 コンクリートの使用材料

材料		主な性質
セメント(C)		普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm^3
細骨材	(S)	川砂、表乾密度：2.61g/cm^3、吸水率：1.34%、F.M.=2.88
	(S)*	川砂、表乾密度：2.62g/cm^3、吸水率：1.00%、F.M.=2.84
粗骨材	(G)	砕石、表乾密度：2.70g/cm^3、吸水率：0.67%、F.M.=6.81、最大寸法：20mm
	(MG)	下水汚泥スラグ、表乾密度：2.75g/cm^3、吸水率：0.25%、F.M.=6.52、最大寸法：20mm
混和剤	W/C=30%	・高性能 AE 減水剤、カルボキシル基含有ポリエーテル系ポリカルボン酸、密度：1.03～1.10g/cm^3 ・AE 助剤(2%溶液)、密度：1.01～1.05g/cm^3
	W/C=50%	・AE 減水剤(25%溶液で使用)、リグニンスルホン酸化合物、密度：1.10g/cm^3 ・AE 助剤(1%溶液)、アルキルアリルスルホン酸化合物、密度：1.19g/cm^3
	W/C=50%*	・高性能 AE 減水剤、カルボキシル基含有ポリエーテル系ポリカルボン酸、密度：1.03～1.10g/cm^3 ・AE 助剤(1%溶液)、アルキルアリルスルホン酸化合物、密度：1.19g/cm^3

* 破壊エネルギー試験用コンクリートの使用材料

表 2.2 コンクリートの示方配合

配合名	W/C	MG/(G+MG)	s/a	単位量(kg/m^3)					AE 減水剤	AE 助剤
	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	MG	(cc/m^3)	(cc/m^3)
30-0	30	0	41.2	170	566	651	963	0	3341	8494
30-5		5	41.2	170	566	651	915	49	3114	8154
30-15		15	41.2	170	566	651	818	147	3114	16988
30-25		25	41.2	170	566	651	722	245	3228	9060
50-0	50	0	45.2	170	340	798	1003	0	850	1699
50-5		5	45.2	170	340	798	953	51	510	1699
50-15		15	45.2	170	340	798	853	153	544	1699
50-25		25	45.2	170	340	798	753	255	204	1156

表 2.3 破壊エネルギー試験用コンクリートの示方配合

配合名	W/C	MG/(G+MG)	s/a	単位量(kg/m^3)					AE 減水剤	AE 助剤
	(%)	(%)	(%)	W	C	S	G	MG	(cc/m^3)	(cc/m^3)
30-0	30	0	41.0	170	566	650	966	0	5096	8494
30-5		5	41.0	170	566	650	918	49	3964	6795
30-15		15	41.0	170	566	650	821	148	4530	5096
50-0	50	0	45.0	170	340	798	1007	0	1665	1292
50-5		5	45.0	170	340	798	957	51	2039	1088
50-15		15	45.0	170	340	798	856	154	1869	0

キーワード　下水汚泥溶融スラグ　粗骨材　スラグ置換率　破壊エネルギー　強度
連絡先　〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1　立命館大学理工学部　Tel: 077-561-2666　（内線 6873）

破壊エネルギー試験用コンクリートは、スラグ置換率 15%までとした。目標スランプは W/C=30%のとき 18±2cm、W/C=50%のとき 7.5±1cm とし、目標空気量は W/C に関わらず 4.5±1%とした。コンクリート供試体は打設翌日脱型後、所定の材齢(7、28 日)まで標準水中養生(20±1℃)を行った。破壊エネルギー試験用の供試体は、打設翌日脱型後、材齢 26 日まで標準水中養生を行い、コンクリートカッターで切欠きを設けた後、材齢 28 日まで気中養生を行った。

表 3.1　汚泥スラグを用いたコンクリートの破壊特性

配合名	曲げ強度 (N/mm²)	破壊エネルギー (N/mm)
50-0	6.09	0.28
50-5	6.11	0.25
50-15	5.58	0.30
30-0	8.56	0.28
30-5	9.33	0.34
30-15	9.21	0.24

2.2　硬化コンクリート試験方法

JIS の規格に従って圧縮強度、引張強度、曲げ強度、静弾性係数、動弾性係数を、JCI-S-001-2003 を参考に破壊エネルギーを求めた。破壊エネルギー試験の載荷方法は 3 等分点載荷（せん断スパン 10cm、曲げスパン 10cm）とし、供試体下面中央部にはコンクリートカッターにより深さ 3cm の切欠きを設けた。載荷はスクリュージャッキを用いて行い、荷重、供試体下面の切欠き開口変位（CMOD）をロードセルおよびクリップゲージを用いて測定した。

3. 測定結果および考察

3.1　硬化コンクリートの試験結果

図 3.1 に圧縮強度、引張強度、曲げ強度、静弾性係数、動弾性係数試験結果を示す。いずれも W/C=50% 、30%ともに多少の増減はあるものの、置換率が増加すると強度が低下する傾向がみられた。しかし、それぞれ置換率の上限を 15%とすることで、普通コンクリートの 90%以上の強度を確保できると推察できる。静弾性係数は 1/3 割線弾性係数、動弾性係数は縦振動時の 1 次共鳴振動数より求めた。両弾性係数とも、置換率に関係なく同等の値を示したことから、普通コンクリートと同等の弾性係数を示すことが示唆された。

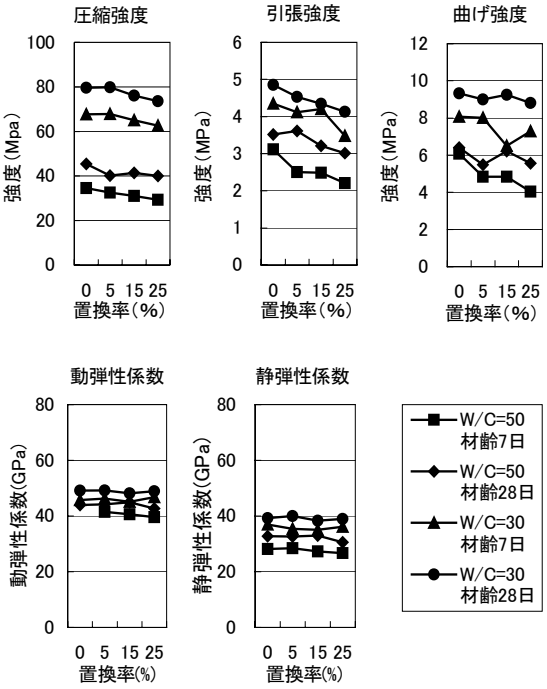

図 3.1　硬化コンクリートの試験結果

3.2　破壊エネルギー試験結果

図 3.2 に荷重－CMOD 曲線および引張軟化曲線を示す。平均化の処理の際、破断に至る途中までしか実験値が計測できていないものについては、実験値が得られた箇所までを平均化し、それ以降は除外した。計測結果に大きなばらつきは観察されず、スラグ置換率の増加に拘らず同様の荷重-CMOD 曲線を示した。引張軟化曲線は各配合の荷重-CMOD 曲線の平均値を用いて解析を行った。引張軟化曲線はスラグ置換率に拘らずほぼ同様の概形を示した。

表 3.1 に汚泥スラグを用いたコンクリートの破壊特性を示す。スラグ置換率に拘らず、置換率 0%の普通コンクリートと同様の曲げ強度および破壊エネルギーを示し、置換率の増加に伴う影響は観察されなかった。

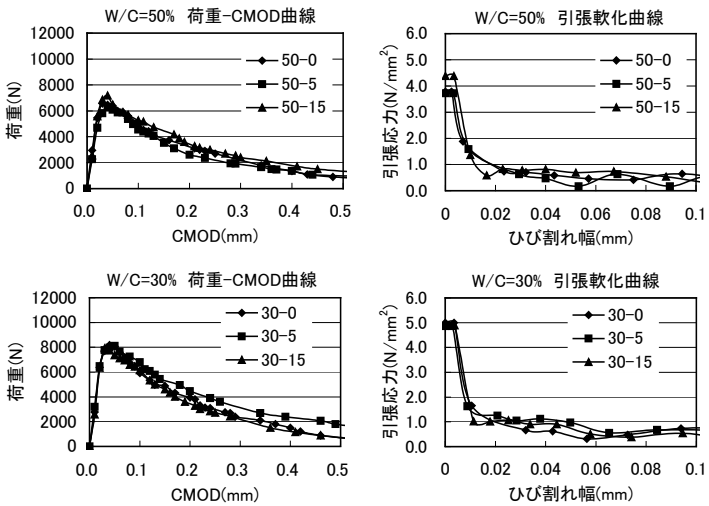

図 3.2　荷重－CMOD 曲線および引張軟化曲線

4. 結論

圧縮強度、引張強度、曲げ強度、静弾性係数、動弾性係数、破壊エネルギーおよび引張軟化曲線は、汚泥スラグ置換率を 15%以下とすることで、普通コンクリートと同等の値を示した。これより汚泥スラグ置換率 15%以内であれば普通コンクリートと同様の強度特性を有することが明らかとなった。以上の結果より、下水汚泥スラグ粗骨材のコンクリート用粗骨材としての利用拡大の可能性が示唆された。

参考文献　1)武田宇浦、児島孝之:下水汚泥溶融スラグを粗骨材として用いたコンクリートの基礎物性 材料 VOL.56、No1、pp82~89、2007.1