

関西大学環境都市工学部 学生会員 ○竹本 裕樹
関西大学院理工学研究科 学生会員 松山 睦美

関西大学環境都市工学部 正会員 鶴田 浩章

1. はじめに

下水道普及率の上昇に伴い、下水汚泥の発生量は年々増加傾向にあり、最終処分場の残余容量の減少や処分場不足、焼却設備の老朽化への対応による処分費用の高騰等が懸念されているため、最終処分場への負担軽減や環境への配慮を前提とした廃棄物の発生抑制・減量化・再資源化への取り組みが必要であるため、下水汚泥の減量化と有効利用が求められている。そこで本研究では、下水汚泥焼却灰を混和材として置換したコンクリートの適用性を明確にすることを目的として、細骨材として置換したコンクリートのフレッシュ性状、強度性状と比較し把握をおこなった。またリン低減型下水汚泥焼却灰も同様の検討を行い、既往の研究との比較検討も行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料は表-1に示す。本研究では異なる下水処理場から採取した2種類の下水汚泥焼却灰を使用した。1つは一般的な焼却灰(以降HAと呼称)で主灰と飛灰の混合灰で、飛散防止のため、含水率約46%のものを下水処理場から採取し、乾燥機で絶乾状態にし適用した。もう一方は従来の下水汚泥焼却灰よりリン含有量が低減されているもの(以降LAと呼称)で、こちらも同様に、飛散防止のため、含水率約38%のものを下水処理場から採取し、乾燥機で絶乾状態にし適用した。また、これら2種類の下水汚泥焼却灰は絶乾状態としたのち、300μmふるいを通過したもの(以降HAS、LASと呼称)を混和材、細骨材の2種類の置換方法で使用した。

表-1 使用材料

材料名	種類	密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率
セメント(C)	普通ポルトランドセメント	3.15	-	-
水(W)	上水道水	1.00	-	-
川砂(RS)	淀川産	2.57	1.60	2.62
下水汚泥焼却灰HAS(I)	高分子系焼却灰	2.64	-	0.42
下水汚泥焼却灰LAS(I)		2.60	-	2.45
粗骨材(G)	茨木市産砕石、皇室砂岩	2.69	1.14	6.54
AE減水剤	リグニンスルホン酸系	1.25	-	-
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系	1.07	-	-
AE剤	変性ロジン酸系	-	-	-

RS、G: 表乾状態 I: 絶乾状態 HAS: ふるい済み従来灰 LAS: ふるい済みリン低減灰

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は表-2に示す。本研究では下水汚泥焼却灰の置換率を0%、HASとLASを細骨材置換及び混和材置換10%、20%と設定し、置換方法は細骨材としての使用では細骨材に対して内割体積置換、混和材としての使用ではセメントの質量に対して外割置換とし、W/C=50%、スランブ 8±1cm、空気量 5±0.5%と設定した。なお、本研究での水セメント比は既往の研究と同一とし、混和剤量のみを変化させて所要のスランブ、空気量を確保できる配合を決定した。

表-2 示方配合

種類	G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤(g/m ³)		
				W	C	S	G	I	Ad1	Ad2	Ad3
N	20	50	44	167	334	766	1020	0	1044	0	0
HAS10(細骨材)			42.5	172	344	657	1038	75	0	3096	688
HAS20(細骨材)				220	440	516	916	132	0	3960	2640
LAS10(細骨材)				190	380	631	992	71	0	3420	1140
LAS20(細骨材)				242	484	486	860	122	0	4356	4840
HAS10(混和材)			44	163	326	765	1015	33	0	2510	0
HAS20(混和材)				185	370	706	940	74	0	3108	1110
LAS10(混和材)				160	320	770	1026	32	0	2464	0
LAS20(混和材)				190	380	695	926	76	0	3192	1140

2.3 実験方法

コンクリートの練混ぜは、下水汚泥焼却灰、セメント、細骨材、水と混和剤とともに加えて混ぜ、その後粗骨材を投入し約3分間パン型強制練りミキサで練混ぜた。それぞれの配合をもとにコンクリートのスランブ試験および空気量試験を行い、フレッシュ性状を把握した上で凝結試験を行った。また、供試体を作製し水中養生を行い、強度試験を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 凝結試験

凝結試験の結果は図-1に示す。図中の赤色破線は

始発時間と終結時間を表わしている。0%の始発時間に比べてLAS10(細骨材置換)が580分と最も凝結が遅延した。また0%の終結時間に比べてLAS20(混和材置換)が690分と最も凝結が遅延した。下水汚泥焼却灰には、セメントの凝結を遅延させると言われる P_2O_5 が含まれていると言われ、凝結時間の遅延はこの P_2O_5 の影響によるものと考えられる。さらには、下水汚泥焼却灰の置換率が増加するごとに凝結が遅延していると言える。しかし、LASよりもリン含有量が多いHASの方が10、20%とも凝結が早く終結した。これは一つの要因として焼却灰が有する保水性の影響の可能性があり、HAよりもLAの方が保水性が高く、水和反応に必要な水がセメントに行き渡りづらくなり、 P_2O_5 の凝結遅延作用を上回って凝結が遅延したのではないかと考えている。

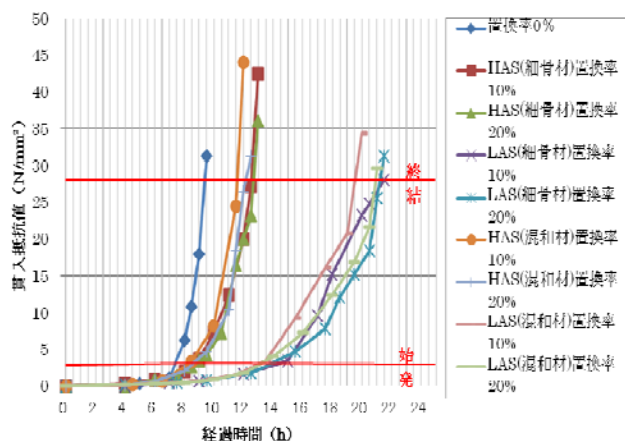


図 - 1 凝結試験結果

3.2 強度試験

強度試験結果は図 - 2 に示す。28 日強度では、N に比べて、計測した全ての焼却灰混入コンクリートの圧縮強度は高かった。中でも HAS10(細骨材)が最も高く、LAS20(細骨材)が低い値となった。下水汚泥焼却灰を混入することで強度が増加したのは、細骨材よりも粒径の小さい焼却灰が混入されたことでコンクリートが密実になったことが最も大きな要因として考えられる。さらに、焼却灰は結合材として有効な SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO を主成分としていることや、焼却灰の保水効果により実質のW/Cが低下したことも要因として考えられる。しかし、細骨材置換と混和材置換の強度を比較する、LAS20(混和材)以外は混和材置換より細骨材置換の方が高かった。これは混和材置換の方

が細骨材置換よりも使用する焼却灰の量が少なく、結合剤として有効な SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO の量も減少したからではないかと考えられる。

7 日強度が低かったLAS10(細骨材)、LAS20(細骨材)、LAS10(混和材)、LAS20(混和材)は28 日強度では他の種類と同様にNに比べて高くなる結果となった。これはLASの保水性が高く、セメントに水が行き渡らず、水和反応が遅れたため初期強度が低下したと考えられる。このことにより、焼却灰を使用する割合ではなく使用する量によって初期強度が影響した可能性がある。

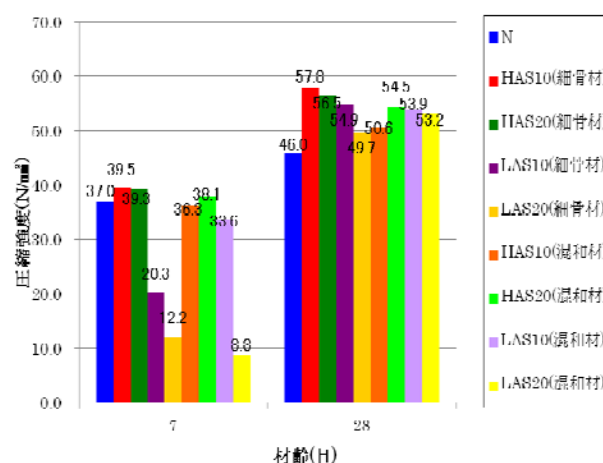


図 - 2 圧縮強度試験結果

4. まとめ

下水汚泥焼却灰の置換率が増加するごとにセメントの凝結が遅延した。LASよりもリン含有量が多いHASの方が10、20%とも凝結が早く終結した。これはHAよりもLAの方が保水性が高く、実際の単位水量が減少して水和反応に必要な水がセメントに行き渡りづらくなり、 P_2O_5 の凝結遅延作用を上回って凝結が遅延したと考えられる。強度性状は28 日強度では、Nに比べて、焼却灰混入コンクリートの圧縮強度は高かった。また、細骨材置換と混和材置換の強度を比較すると、混和材置換の場合より細骨材置換の場合が高かった。これは、混和材置換は細骨材置換より焼却灰の使用量が少なく、結合剤として有効な SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO の量も減少したことが要因と考えられる。

参考文献

- 1) 保坂信克、丸山久一、木村仁、下水汚泥焼却灰を用いたコンクリートの配合設計に関する一考察、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.1、pp.1665-1670、2004