

第 部門 下水汚泥焼却灰を使用したコンクリートの諸性状と環境への影響

関西大学大学院理工学研究科 学生員 戸田光彰
 関西大学大学院工学研究科 学生員 山本裕一
 関西大学環境都市工学部 正会員 鶴田浩章

1. はじめに

下水道普及率の伸びや下水の高度処理の増加に伴い、下水汚泥の発生量は年々増加している。これらの一部は建設資材や緑農地に利用されているが、依然として埋立処分されている量も多く、循環型社会・持続発展可能な社会の構築のためにも有効利用が望まれている。下水汚泥焼却灰（以下、焼却灰と略）に関する研究は多いが、長期的データや環境への影響を検討したものは少ない。

本研究では焼却灰を天然細骨材に置換してコンクリートに使用することによる、コンクリートの強度性状、乾燥収縮性状および中性化速度への影響、微量成分の溶出等について明らかにすることを試みた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表1に使用材料を、表2に焼却灰の物性値を示す。採取した焼却灰は湿灰であるため、乾燥機を用いて絶乾状態にし、300 μ mふるいを通過したものを使用した。焼却灰は本来埋立処分されるものであり、埋立基準を満たしていることは確認されているが、微量ながら重金属類が含まれており、特にAsとSeについて注意を要すると言われている。

2.2 コンクリートの配合

焼却灰は細骨材に内割り体積置換し、置換率は0、5、10、20%とした。水セメント比50%、スランプ 8 ± 1 cm、空気量 5 ± 0.5 %となるように試験練りを行いながら単位水量、細骨材率、混和剤の種類を変化させて決定した。表3にコンクリートの示方配合を示す。焼却灰を置換するほど流動性は低下し、より多くの単位水量が必要となった。

2.3 実験方法

コンクリートの練り混ぜは、焼却灰をセメント、細骨材、粗骨材とともに加えて混ぜ、その後、水と混和剤を投入し約3分間練り混ぜた。各置換率（微量成分溶出試験用は0、10%のみ）の配合を用いて供試体を

表1 使用材料とその物性

セメント(C)	普通ポルトランドセメント (密度:3.15g/cm ³ 、比表面積:3470cm ² /g)
細骨材(S)	川砂(RS) (表乾密度:2.57g/cm ³ 、粗粒率:2.78、吸水率:1.79%) 下水汚泥焼却灰(I) (絶乾密度:2.55g/cm ³ 、粗粒率:0.28)
粗骨材(G)	碎石 (表乾密度:2.67 g/cm ³ 、粗粒率:6.54、吸水率:1.25%、最大寸法:20mm)
水(W)	上水道水
Ad1	リグニンスルホン酸系 (密度:1.25g/cm ³)
Ad2	ポリカルボン酸エーテル系 (密度:1.07g/cm ³)
AE剤	密度1.02~1.06g/cm ³

表2 焼却灰の物性

含水率(%)	約37
粗粒率	0.28
絶乾密度(g/cm ³)	2.55
比表面積(m ² /g)	8.46
粉末度(%)	26.6
P ₂ O ₅ 含有量(%)	19.2

表3 示方配合

置換率(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m ³)							
		W	C	S		G	Ad1(g)	Ad2(g)	AE(g)
				RS	I				
0	44.0	168	336	764	0	1017	1470	0	0
5		174	348	715	37	1003	1523	0	10.5
10	42.5	171	342	659	72	1037	0	5130	10.3
20		201	402	543	134	961	0	6030	12.1

作製し、強度試験、凝結試験、乾燥収縮試験、促進中性化試験をJISに基づいて、微量成分溶出試験を土木学会規準に基づいて行った。

3. 実験結果

3.1 コンクリートの凝結試験

示方配合から粗骨材を除いた配合でモルタルを練り始発時間と終結時間の測定を行った。結果を表4に示す。焼却灰を置換することで凝結は遅延したが、これは焼却灰に含まれているP₂O₅の影響によるものと思われる。しかし、置換率10%と20%を比較すると、終結時間はほぼ同等であったが、始発時間は置換率10%のほうが遅れていた。

表4 始発時間と終結時間

置換率(%)	始発時間(min)	終結時間(min)
0	500	645
5	570	750
10	920	1110
20	770	1125

3.2 コンクリートの強度試験

試験材齢は7、28、91、182日とした。結果を図1に示す。圧縮強度は置換率5%が最も高く、置換率10%でも置換率0%と比較して同程度かやや高いという結果となった。

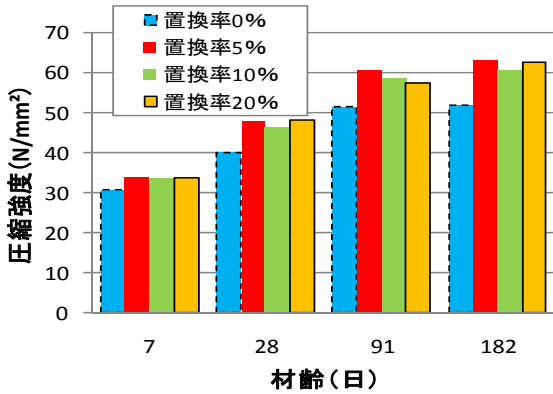


図1 圧縮強度試験結果

3.3 コンクリートの乾燥収縮試験

乾燥は供試体側面の2面乾燥とした。打設後7日目を測定0日目として初期値を測定し、温度20℃、湿度70%の恒温恒湿室に静置して測定を開始した。結果を図2に示す。乾燥収縮ひずみは焼却灰の置換率が高くなるほど増加した。いずれの置換率でも材齢7日目より徐々に収縮速度が低下し、150日目頃から収縮量はほぼ収束した。置換率20%は現在も測定中であるが、既にほぼ収束している。

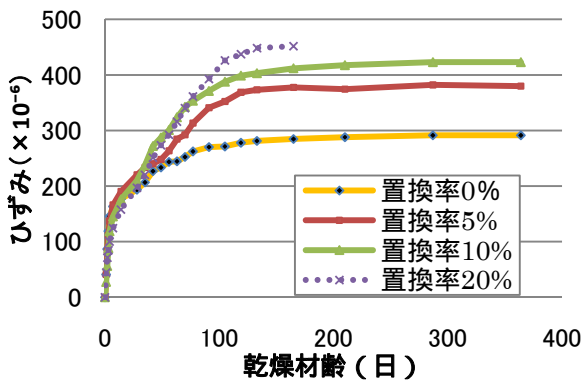


図2 乾燥収縮試験結果

3.4 コンクリートの促進中性化試験

促進条件は温度20℃、相対湿度60%、CO₂濃度5%と設定した。中性化深さの測定方法は、JISに基づいて行い、計測を行う促進期間は1、3、5、8、13、26週とした。結果を図3に示す。縦軸に中性化深さを横軸に促進期間(週)の平方根をとり、近似線の傾きにより中性化速度を比較した。置換率0%と比較すると、

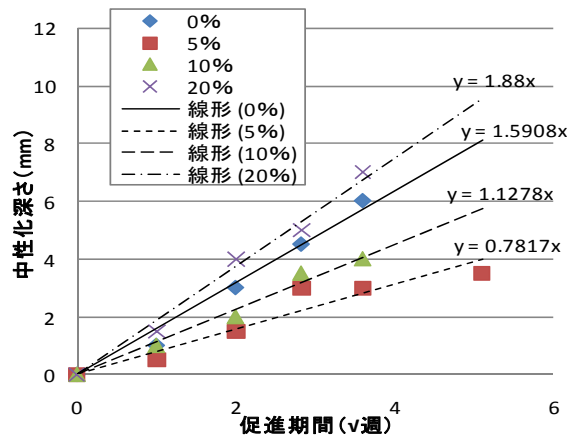


図3 促進中性化試験結果

置換率5、10%では中性化を抑制することができた。

3.5 コンクリートからの微量成分溶出試験

土木学会規準に基づきタンクリーチング試験を行った。供試体を置換率0、10%に対して2体ずつ作製し、うち1体は供試体を中央から割裂し、円形断面を露出させ、コンクリートにひび割れが発生した状態を模擬した。内容積が5l程度の容器に蒸留水を入れ、打設後7日目の供試体を浸せきし静置した。試験開始から24時間ごとに試験容器内の溶媒を全量交換し、これをもとに検液を作製した。この操作を連続して4回繰り返し、F、B、Cr()、As、Se、Cd、Hg及びPbの濃度を測定し、排水、水質及び埋立の環境基準値と比較検討した。

FとPbは健全な供試体、割裂した供試体の両方で溶出したが、B、Cr()、As、Se、Cd及びHgに関しては、焼却灰の置換率や割裂の有無に関わらず溶出量は定量下限値未満となった。溶出が確認されたFとPbも各環境基準値を下回る値となった。

4.まとめ

- (1) 焼却灰を置換するほど流動性は低下する。
 - (2) 凝結は焼却灰を使用することで遅延するが、5~10%程度の置換率であれば強度は増加する。
 - (3) 焼却灰量が増加するほど乾燥収縮ひずみは大きくなる。
 - (4) 置換率10%までは中性化抵抗性は増加する。
 - (5) 溶出試験ではFとPbが溶出したが、環境基準値未満となり、その他は定量下限値未満の溶出となったため、焼却灰の環境への悪影響は少ないといえる。
- 以上のことより、置換率10%程度までであれば、建設材料として利用できる可能性は高いと考えられる。