細骨材の一部に置換した下水汚泥焼却灰の種類によるコンクリートの凝結性状への影響

関西大学大学院理工学研究科　学生員　○竹本　裕樹
関西大学環境都市工学部　正会員　鶴田　浩章、上田　尚史

1. 目的

近年の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 [1)]、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、下水汚泥の減量化と有効利用が早急に求められている。

そこで本研究では、リンが低減されたリン低減型下水汚泥焼却灰をコンクリート用細骨材の一部に置換した際、その際のコンクリートの凝結性状への影響に着目し、リンを低減する処理を施していない一般的な下水汚泥焼却灰と比較した。また、それぞれの下水汚泥焼却灰の粉体の特性を明らかにしコンクリートへの影響を明らかにすることを試みた。

2. 使用材料及び配合

2.1 使用材料

表 1 に使用材料を示す。下水汚泥焼却灰はリン低減型焼却灰と一般的な焼却灰(以下LAとHAと略称)の 2 種類を使用した。いずれも高分子系焼却灰であり、採取時の焼却灰は水分を含んでいた。そこで、焼却灰を細骨材として利用するために、105℃一定の乾燥炉で 24 時間以上乾燥させ絶乾状態にして使用した。

2.2 コンクリートの配合

表 2 にコンクリートの配合を示す。焼却灰は細骨材に内割体積置換し、置換率は 0%(以下 N と略称)、10%、20%とした。水セメント比 50%と N 以外の細骨材率を 42.5%と一定にした。また、多量添加によりコンクリートの凝結遅延を引き起こすとされる高性能 AE 減水剤を標準使用量である 0.9%(N 以外)と一定にし、スランプ 8±1cm、空気量 5±0.5%を目標として配合を決定した。Ad1 は AE 減水剤、Ad2 は高性能 AE 減水剤、Ad3 は AE 剤のことを示している。

3. 実験概要

3.1 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、下水汚泥焼却灰をセメント、細骨材、水、混和剤とともに練り混ぜた後、粗骨材を投入し約 3 分間ミキサで練り混ぜた。

表 1　使用材料

材料名	種　類		特　性
セメント	普通ポルトランドセメント(C)		密度:3.15g/cm^3
水	上水道水(W)		
細骨材	淀川産川砂(S)		表乾密度:2.58 g/cm^3、吸水率:1.45%、F.M.:2.57
	下水汚泥焼却灰(I)	HA	絶乾密度:2.61 g/cm^3
		LA	絶乾密度:2.59 g/cm^3
粗骨材	茨木市産砕石(G)		表乾密度:2.69 g/cm^3、吸水率:0.47%、F.M.:6.67
混和剤	AE 減水剤(Ad1)		リグニンスルホン酸系、密度:1.25 g/cm^3
	高性能 AE 減水剤(Ad2)		ポリカルボン酸エーテル系、密度:1.07 g/cm^3
	AE 剤(Ad3)		変性ロジン酸系

表 2 コンクリートの配合

種類	G.max (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					混和剤(g/m^3)		
				W	C	RS	G	I	Ad1	Ad2	Ad3
N	20	50	44	167	334	766	1020	0	835	0	0
HA10			42.5	171	342	659	1037	74	0	3078	1026
HA20				189	378	630	995	71	0	3402	1134
LA10				210	420	530	938	135	0	3780	2520
LA20				238	476	490	871	123	0	4284	4760

3.2 凝結試験

JIS A 1147「コンクリートの凝結試験方法」に準じて行った。試験で使用するモルタルは、コンクリートの試料を JIS Z 8801-1 に規定する 5mm の網ふるいでウエットスクリーニングをして得られたモルタル試料を用い、始発時間と終結時間を測定した。

3.3 水粉体容積比と相対フロー面積比 [2)]

水粉体容積比と相対フロー面積比の関係は粉体の種類にかかわらず、各種粉体の水粉体容積比とペーストフロー値から得られる相対フロー面積比が線形な関係にあることが明らかにされている。

そこで、式(1)よりペーストフロー値から相対フロー面積比を算出し、水粉体容積比とペーストの相対フロー面積比の関係を表した。ペーストのフロー値は、水粉体容積比と粉体の変形係数、拘束水比の式で定まり、式(2)のような基本式で表される。そこで、グラフの傾きを変形係数、ペーストの相対フロー面積比が 0 となるときの水粉体容積比が拘束水比と表

キーワード　下水汚泥焼却灰、リン、リン低減、凝結
連絡先　〒564-8680 吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号　TEL　06-6368-1121

される。ペーストの作製は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に定めるセメントペーストの練混ぜ試験に準じて行い、振動を与えないペーストの広がりをフロー値とした。

$$\Gamma p = \left(\frac{Fp}{100}\right)^2 - 1 \qquad (1)$$

$$\frac{Vw}{Vp} = Ep \cdot \Gamma p + \beta p \qquad (2)$$

Γp：ペーストの相対フロー面積比
Fp：振動を与えないペーストの広がり値(mm)
Vw：ペースト中に占める自由水容積比
Vp：ペースト中に占める水容積比
Ep：粉体の変形係数、β_p：粉体の拘束水比

3.4 空隙率試験 [2)]

空隙率試験は直径 5.9cm、高さ 7.4cm の円筒容器に円筒の上部 10cm の高さから粉体を充填させ、その後 1cm の高さから繰り返し容器を落下させ、容器中でそれ以上粉体が充填しなくなった状態の時の質量と容積から空隙率を求めた(式(3))。また空隙率から空隙比を算出し、空隙率 ε と空隙比β_eから保有水率を算出した(式(4)、式(5))。

$$\varepsilon = 1 - \frac{W}{\rho_p A L} \qquad (3)$$

$$\beta_e = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \qquad (4)$$

$$\text{保有水率} = \frac{\beta_p}{\beta_e} \qquad (5)$$

W：試料の重量、ρ_p：粒子密度、A：試料層の断面積
L：充填層高さ、β_e：空隙比、β_p：拘束水比

4. 実験結果及び考察

4.1 水粉体容積比と相対フロー面積比の結果

各種粉体の変形係数と拘束水比の値の算定を**表 3** に示す。変形係数はどの粉体ともほぼ同等な値になり、どの粉体も変形のしやすさの程度はほぼ同等だということがわかった。また、拘束水比は、N、HA、LA の順に値が大きくなった。

4.2 空隙率試験結果と考察

空隙率、空隙比、保有水率の算定結果を**表 4** に示す。空隙率では、N、HA、LA の順に空隙率が大きくなり、空隙率が大きくなるほど拘束水比が大きくなった。これは、LA の粉体自体が水を拘束しやすく空隙に溜め込みやすいためであると考えられる。しかし、保有水率では HA と LA では同等程度となり、空隙率と拘束水比の関係が大きく影響していると考えられる。

表 3 各種粉体の変形係数と拘束水比の算定結果

粉体種類	変形係数	拘束水比
N	0.09	1.16
HA	0.07	1.63
LA	0.08	2.33

表 4 空隙率、空隙比、保有水率の算定結果

種類	拘束水比	空隙率	空隙比	保有水率
N	1.16	0.35	0.53	2.19
HA	1.63	0.46	0.85	1.91
LA	2.33	0.55	1.22	1.91

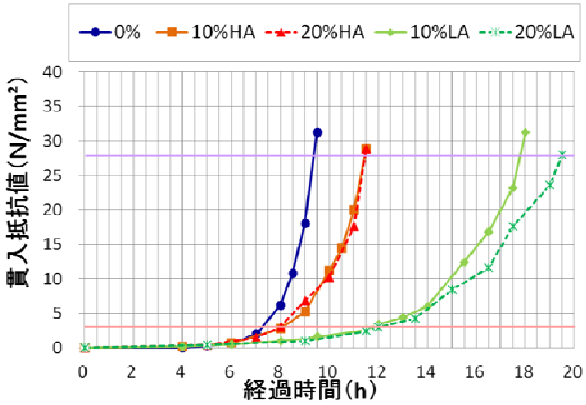


図 1 凝結試験結果

4.3 凝結試験結果及び考察

凝結試験結果を**図 1** に示す。凝結試験では LA はリンの含有量を低減しているにも関わらず、リンを低減していない HA よりも凝結が遅くなった。これは、LA の空隙率が大きく、また拘束水比が大きく水を拘束するため、セメントに水がなかなか供給されないものと考えられる。したがって、水和反応が進まず凝結が遅延したと考えられる。

5. まとめ

(1) 粉体特性を調べた結果、LA が HA よりも空隙率が大きく、拘束水比も大きいという結果になった。よって、LA の空隙率が大きく、拘束水比が大きくなり、粉体が分散するために使われる水が少なくなり、粉体が分散しにくい状態にあると考えられる。

(2) HA と LA の凝結の遅延は、拘束水比と空隙率が大きい LA の方が、セメントに水が供給されにくいため凝結は遅延したと考えられる。

参考文献

1) 社団法人 日本下水道協会：下水道統計、2011
2) 緑川猛彦・丸山久一：保水能力に関する各種粉体の粒子形状や粒度分布の評価：土木学会論文集、No.544/V-32、pp.121-130、1996.8